

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS:

**RECUPERACIÓN DE LA FERTILIDAD Y FITOEXTRACCIÓN DEL
Hg CON CULTIVOS DE COBERTURA EN SUELOS DEGRADADOS
POR LA MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL EN PUERTO
MALDONADO**

EJECUTOR:

PEDRO MIGUEL CASTILLO CHÁVEZ

ASESOR:

Ing. Mg. Sc. Juan Guerrero Barrantes

LA MOLINA, 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**RECUPERACIÓN DE LA FERTILIDAD Y FITOEXTRACCIÓN DEL
Hg CON CULTIVOS DE COBERTURA EN SUELOS DEGRADADOS
POR LA MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL EN PUERTO
MALDONADO**

Presentada por

PEDRO MIGUEL CASTILLO CHÁVEZ

Tesis para Optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. Victor Meza Cobtreras
Presidente

Ing. Lili Tello Peramas
Miembro

Mg. Sc. Ever Menacho Casimiro
Miembro

Mg.Sc. Juan Guerrero Barrantes
Patrocinador

INDICE GENERAL

Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA EN MADRE DE DIOS.....	3
2.1.1. Métodos de extracción.....	3
2.1.2. Proceso de extracción de la pequeña minería aluvial.....	3
2.1.3. MARCO NORMATIVO NACIONAL.....	4
2.1.4. Impactos de la actividad minera aurífera aluvial	6
2.2. SUELO DEGRADADO.....	9
2.3. FERTILIDAD BIOLÓGICA DE LOS SUELOS DEGRADADOS.....	9
2.3.1. Fijación biológica del nitrógeno (Relación de la leguminosa y el <i>Rhizobium</i>)	9
2.3.2. Mecanismo en la capacidad fijadora de nitrógeno	10
2.3.3. Limitaciones en la fijación simbiótica de nitrógeno	11
2.3.4. Factores que influyen en la fijación biológica de nitrógeno en suelos tropicales..	12
2.3.5. Funciones del uso de cobertura del suelo para recuperación de suelos degradados .	12
2.4. LEGUMINOSAS.....	14
2.4.1. <i>Crotalaria juncea</i>	14
2.4.2. <i>Stylosanthes guianensis</i>	15
2.4.3. <i>Pueraria phaseoloides</i>	16
2.4.4. <i>Centrosema macrocarpum</i>	18
2.4.5. <i>Canavalia ensiformis</i>	19
2.5. EFECTOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO	20
2.5.1. Indicadores físicos	21
2.5.2. Indicadores químicos	22

2.6.SIMBIOSIS ENTRE LEGUMINOSA Y RHIZOBIUM COMO HERRAMIENTA PARA LA BIORREMEDIACIÓN.....	27
2.6.1. El microsimbionte (bacteria) y los metales pesados.....	27
2.6.2. Impacto de los metales pesados en la producción de leguminosas	29
2.7.MERUCIROO Y SUS PROPIEDADES	29
2.8.CONTAMINACIÓN DE SUELO CON MERCURIO.....	30
2.9.MERCURIO EN LAS PLANTAS.....	31
2.10.INVESTIGACIONES DEL CONTENIDO DE MERCURIO EN SUELOS DEGRADADOS EN MADRE DE DIOS POR LA MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL	32
2.11.FACTOR DE TRANSLOCACIÓN (TF)	33
III. MATERIALES Y METODOS	34
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	34
3.1.1 Ubicación política.....	34
3.1.2. Ubicación geográfica	35
3.1.3. Geología	35
3.2. MATERIALES	35
3.2.1. Materiales de campo.....	35
3.2.2. Insumos	36
3.2.3. Equipos.....	36
3.2.4. Materiales de laboratorio.....	36
3.3. METODOLOGÍA	37
3.3.1. Diseño estadístico	37
3.3.2. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo antes y después de la siembra de los cultivos de cobertura de leguminosas: <i>Centrosema macrocarpum</i> Benth, <i>Crotalaria juncea</i> L, <i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw, <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth., 1867, <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.....	38
3.3.2. Evaluar la producción de biomasa de las coberturas a usar como: <i>Centrosema macrocarpum</i> Benth, <i>Crotalaria juncea</i> L, <i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw, <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth., 1867, <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC, en la comunidad nativa San Jacinto en Puerto Maldonado.....	43

3.3.3. Determinar el porcentaje de cobertura de las leguminosas en cada submuestra de cada tratamiento.....	44
3.3.4. Determinar la concentración de mercurio en la parte foliar y radicular de las leguminosas (<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth, <i>Crotalaria juncea</i> L, <i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw, <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth., 1867, <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.....	44
IV. RESULTADOS	46
4.1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo antes y después de la siembra de los cultivos de cobertura de leguminosas: <i>Centrosema macrocarpum</i> Benth, <i>Crotalaria juncea</i> L, <i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw, <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth., 1867, <i>Canavalia ensiformes</i>	46
4.1.1. Indicadores físicos.....	47
4.1.2. Indicadores químicos.....	48
4.2. Determinar el porcentaje de cobertura, altura y biomasa fresca y seca de las leguminosas en cada submuestra de cada bloque experimental y evaluación del crecimiento.	54
4.2.1. determinación del porcentaje de cobertura de las leguminosas en las áreas degradadas	54
4.2.2. Resultados entre la altura y el tiempo de evaluación.....	58
4.2.3. Evaluación de la biomasa fresca y seca de la parte aérea y radicular de las leguminosas.....	62
4.3. CANTIDAD DE NITRÓGENO EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS DE LAS LEGUMINOSAS	65
4.3.1. Evaluación de nitrógeno en la zona radicular y foliar de las leguminoss	65
4.3.2. Evaluación de la cantidad porcentual de nitrógeno (N) total con el número de leguminosas.....	67
4.4. Determinar la concentración de mercurio en la parte foliar y radicular de las leguminosas (<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth, <i>Crotalaria juncea</i> L, <i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw, <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth., 1867, <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	69
V. CONCLUSIONES	72
VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	75
VIII. ANEXOS	80

INDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Clasificación de pequeña minería y minería artesanal.....	5
Cuadro 2: Diferencias y similitudes entre la Minería ilegal y Minería informal.....	6
Cuadro 3: Efectos de la minería a los ecosistemas	7
Cuadro 4: Cantidad de nitrógeno fijado por la Pueraria	18
Cuadro 5: : indicadores físicos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo	21
Cuadro 6: Principales características de los diferentes tipos de suelos	22
Cuadro 7: Indicadores químicos de la calidad del suelo.....	23
Cuadro 8: Característica de los suelos con respecto al material orgánico	24
Cuadro 9: Valores de contenido de fósforo respecto a tipo de suelo.....	25
Cuadro 10: Valores de contenido de potasio respecto a la clase de suelo	26
Cuadro 11: Clasificación del suelo según su conductividad	26
Cuadro 12: Ubicación geográfica de la zona estudiada.....	35
Cuadro 13: Formación geológica del área de estudio.....	35
Cuadro 14: Disposición de los tratamientos en los bloques	37
Cuadro 15: Abreviatura de los tratamientos	37
Cuadro 16: Distanciamiento, profundidad y cantidad de semillas	39
Cuadro 17: Punto de muestro en la primera caracterización físico química	40
Cuadro 18: Puntos de muestreo de la caracterización físico química final	41
Cuadro 19: Metodologías aplicadas a las variables de estudio	42
Cuadro 20: Caracterización inicial del suelo	46
Cuadro 21: Contenido promedio de arena (%) y arcilla(%) de la caracterización final del suelo	47
Cuadro 22: Contenido promedio de materia orgánica del suelo después de la instalación de las leguminosas	48
Cuadro 23: Contenido promedio de pH de las muestras de la caracterización de suelo después de la instalación de las leguminosas	49
Cuadro 24: Resultados promedios de la C.I.C del suelo después de la instalación de las leguminosas	50

Cuadro 25: Contenido promedio de Fósforo en el suelo después de la instalación de las leguminosas	51
Cuadro 26: Contenido promedio de potasio en el suelo después de los 200 días instalación de las leguminosas	52
Cuadro 27: Conductividad eléctrica promedio del suelo después de los 200 días instalados las leguminosas	52
Cuadro 28: : Evaluación total del porcentaje de cobertura de los tratamietntos	54
Cuadro 29: Correlación entre el porcentaje de cobertura y el tiempo evaluado	56
Cuadro 30: Evaluación Promedio total de la altura de las leguminosas	58
Cuadro 31: Correlación entre la altura promedio y los días evaluados	60
Cuadro 32: Biomasa de peso fresco y seco de la parte aérea (tallos y hojas).....	62
Cuadro 33: Biomasa de peso fresco y seco de la raíz.....	62
Cuadro 34: Contenido de nitrógeno total (%) en la zona de raíz, tallo y hojas de las leguminosas	66
Cuadro 35: Contenido promedio de N (%) en los diversos órganos (tallos, raíz y hojas y Número de Nódulos	67
Cuadro 36: Concentración promedio de mercurio (Hg) kg/mg en la zona raicular tallos y hojas de las leguminosas.....	69

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Toxicidad de metales pesados al crecimiento de las leguminosas	28
Figura 2: Localización del área de estudio	34
Figura 3: Evaluación de las medias del porcentaje de cobertura de los tratamientos	55
Figura 4: Correlación Porcentaje de cobertura evaluadas periódicamente durante seis meses.....	55
Figura 5: Correlación entre la altura en el tiempo	59
Figura 6: Grafica del comportamiento de la altura en el tiempo	59
Figura 7: Biomasa fresca y seca de la zona aérea.....	63
Figura 8: Biomasa fresca y seca de la zona aérea radicular	63
Figura 9: : Contenido de nitrógeno en los tallos de las leguminosas	66
Figura 10: Cantidad del porcentaje de nitrógeno en las diferentes órganos de las leguminosas y la cantidad de nódulos formados	68
Figura 11: Concentración peromedio de mercurio en los tallos de los tratamientos	69

I. INTRODUCCIÓN

Según datos expuestos por el (Ministerio del Ambiente (MINAM) & (IIAP), 2011) en Madre de Dios se estima que hay más de 30 000 mineros operando y que el 90% de las operaciones mineras son informales, por ello hay una creciente conflictividad social y ambiental. Se estima que las operaciones de la minería de oro en Madre de Dios ya han afectado más de 32 000 ha de bosque.

En estas zonas tropicales la minera aurífera en suelos aluviales se está expandiendo rápidamente en los últimos años con consecuencias negativas a la salud humana y al medio ambiente. Este problema está conduciendo a un rápido deterioro físico, químico, biológico del suelo, originando descensos en la productividad agrícola y el deterioro del medio ambiente. Datos expuestos (Ministerio del ambiente (MINAM), 2011) afirman que la minería de oro ilegal ha deforestado 18 000 ha en Madre Dios y cada año se estima que destruye unas 400 hectáreas adicionales, la destrucción de bosque altera el paisaje lo cual impacta el ecoturismo, el cual es una de las actividades de mayor desarrollo, según el Indicador Compuesto De Actividad Económica (2015). Hubo un crecimiento del turismo en 19.4% en la región, pero este crecimiento puede ser afectado por la degradación del suelo y por un descenso en la biodiversidad ocasionada por la actividad minera.

Debido al gran impacto que ejerce esta actividad al medio, el suelo pierde muchas de sus funciones. Una de las alternativas para su recuperación es el uso de coberturas vegetales, ya que estas mejoran el suelo agregando materia orgánica, además es una práctica agrícola que contribuye a la conservación de la humedad del suelo entre otras medidas destinadas a incrementar la producción agrícola y mejorar las propiedades alteradas que el suelo sufrió por la actividad minera.

En los trópicos se están dirigiendo hacia el desarrollo de una tecnología de bajos insumos. (Sánchez & Salinas, 1984) argumenta que, para el manejo del suelo degradados por la minería, esta tecnología no trata de eliminar el uso de fertilizantes, sino trata más bien de maximizar la eficiencia en el uso de insumos. El concepto básico de la tecnología de bajos insumos para el manejo de suelo es dar el uso más eficiente a los insumos adquiridos, sembrando especies que sean más tolerantes a los factores limitantes existentes en el suelo y así disminuir la aplicación de fertilizantes, para obtener una producción razonable.

Los suelos degradados por la minería aluvial son suelos ácidos escasos en nutrientes y cuentan con un mal manejo lo cual genera que se pierda la diversidad en el suelo. Por lo tanto, la fijación del elemento N es muy importante para la restauración de estos suelos, ya que permite que otras especies nativas que fueron afectadas por la actividad minera se restablezcan. Esta investigación trata esencialmente el uso de leguminosas (*Pueraria*, *Canavalia*, *Crotalaria*, *Sylosanthes*, *Centrosema*) como cobertura para la fijación de nitrógeno en suelos degradados por la minería aluvial..

Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo antes y después de la siembra de los cultivos de cobertura de leguminosas: *Canavalia ensiformis*, *Sylosanthes guianensi* , *Pueraria phaseoloides* (Kudzu), , *Crotalaria incana* y *Centrosema macrocarpum*.
- Evaluar la producción de biomasa de las coberturas ha usar como: *Canavalia ensiformis*, *Sylosanthes guianensis* , *Pueraria phaseoloides*,, *Crotalaria incana*, en la comunidad nativa San Jacinto en Puerto Maldonado.
- Determinar el porcentaje de cobertura de las leguminosas
- Determinar la concentración de mercurio en la parte foliar y radicular en la *Canavalia ensiformis*, *Sylosanthes guianensis*, *Pueraria phaseoloides*, *Crotalaria incana* y *Centrosema macrocarpum*.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA EN MADRE DE DIOS

2.1.1. Métodos de extracción

El (Ministerio del Ambiente (MINAM) & (IIAP), 2011) reportan: “la región de Madre de Dios se extrae oro explotando yacimientos aluviales o placeres auríferos en las llanuras o terrazas, con intensidad en los cauces de los ríos y terrazas. Los depósitos en terrazas, cerca de los lechos actuales de los ríos contienen mayores concentraciones de oro, se estima que llegan a concentraciones de hasta 0.31 gramos de oro por metro cubico de grava aurífera en el bajo Madre de Dios. La extracción del oro, que se encuentra en los suelos aluviales y en los lechos y orillas de los ríos, forzosamente se debe destruir el bosque y alterar totalmente el lecho y los ríos, porque se trata de placeres auríferos, es decir, de partículas de oro depositadas en os suelos y fangos, y no de vetas o zonas sin bosque como en otras zonas del Perú. En la Amazonia es casi imposible extraer el oro aluvial sin destruir el bosque y degradar el suelo”.

(Ministerio del Ambiente (MINAM) & (IIAP), 2011) afirmaron que se desarrollan cuatro métodos de extracción del mineral y estos son:

- I. Artesanales: con carretilla e implementos muy simples.
- II. Extracción con motobombas y chupaderas en los suelos y dentro del bosque.
- III. Extracción con diversos tipos de dragas en los lechos de los ríos
- IV. Extracción con maquinaria pesada (cargadores frontales y volquetes).

2.1.2. Proceso de extracción de la pequeña minería aluvial

El proceso de extracción se resume en los siguientes pasos según reporta (Ministerio del Ambiente (MINAM) & (IIAP), 2011):

Paso 1: las arenas y gravas son sacadas del lugar y transportadas a las instalaciones de lavado, el material al final pasa sobre una alfombra o lona de yute, debajo de la cual hay un plástico, donde se depositan las arenas finas con las partículas de oro.

Paso 2: La arenilla aurífera, que es un concentrado, se recoge en recipientes (baldes y similares) y se aplica mercurio para la amalgamación. Se utiliza 2.8 kg de mercurio por un kilogramo de oro obtenido. Este proceso de amalgamación se hace a orillas del río o en el campamento.

Paso 3: la amalgama obtenida tiene una proporción de 60 % de mercurio y 40% de oro, es conocido por el nombre de perla o botón de amalgama.

Paso 4: Esta perla o botón se somete a calor con un soplete, se volatiliza el mercurio y funde el oro, obteniéndose el oro ahogado. El 76% de los mineros realiza esta tarea en los campamentos y un 24 % al aire libre.

Paso 5: El mercurio vaporizado permanece en el estado gaseoso entre un 50 y 60% y se dispersa, el restante vuelve inmediatamente al estado líquido y cae alrededor del área donde se hace el ahogado. El uso de campanas para la recuperación del mercurio es prácticamente inexistente. En las dragas, que operan sobre los ríos se volatiliza, por lo general, el mercurio en la misma draga y este termina en las aguas de los ríos.

2.1.3. MARCO NORMATIVO NACIONAL

En enero del 2002 se aprobó la ley 27651-Ley de formalización y promoción de la pequeña minería y la minería artesanal, en la cual tiene por objetivo introducir en la legislación minera un marco legal que permita una adecuada regulación de las actividades mineras desarrolladas por pequeños productores mineros y mineros artesanales, propendiendo a la formalización, promoción y desarrollo de estas. De acuerdo con dicha ley, existen la clasificación de la pequeña minería y minería artesanal, los cuales estarán detallados en el siguiente cuadro 1.

Cuadro 1: Clasificación de pequeña minería y minería artesanal

RUBRO	PEQUEÑA MINERÍA	MINERÍA ARTESANAL
Titular	Persona natural, conjunto de personas naturales, personas jurídicas formadas por personas naturales, cooperativas mineras o centrales de cooperativas mineras.	
Tipo de actividad	Actividad de explotación y/o beneficio directo de minerales desarrollada de forma habitual por sus titulares.	Actividad de explotación y/o beneficio directo de minerales de minerales desarrollada de forma habitual y como medio de sustento de sus titulares, que se realiza con métodos manuales y/o equipos básicos.
Dimensiones máximas del derecho minero	Hasta 2000 ha entre denuncios, petitorios y concesiones mineras.	Hasta 1000 ha, entre denuncios, petitorios y concesiones mineras; o mediante la suscripción de acuerdos o contratos con los titulares mineros.
Capacidad instalada máxima	Minería metálica: 350 toneladas métricas por día.	Minería metálica: 25 toneladas métricas por día.
	Minería no metálica y materiales de construcción: 1200 toneladas métricas por día.	Minería no metálica y materiales de construcción: 100 toneladas métricas por día.
	Yacimientos metálicos tipo placer: 3000 m ³	Yacimientos metálicos tipo placer: 200 m ³

Fuente: MINAM, 2017 en base a la ley N° 27651

El 19 de abril de 2012, el diario El Peruano publicó el decreto legislativo N° 1105- decreto legislativo que establece disposiciones para el proceso de formalización de las actividades de pequeña minería y minería artesanal, el cual establece una serie de acciones que permite el proceso de formalización de la actividad minera informal de la pequeña minería y de la minería artesanal, ejercida en zonas no prohibidas para la realización de dicha actividad. Dicho decreto también hace mención acerca de las diferencias entre minería

informal e ilegal, según el decreto legislativo N° 1105 define la minería ilegal e informal expuesto en el cuadro 2.

Cuadro 2: Diferencias y similitudes entre la Minería ilegal y Minería informal

	MINERÍA INFORMAL	MINERÍA ILEGAL
Definición	Actividad minera ejercida por personas, natural o jurídica, o grupo de personas organizadas para ejercer dicha actividad, usando equipos y maquinaria que no corresponde a las características de la actividad minera que desarrolla (pequeño productor Minero o Productor Minero Artesanal) o sin cumplir con las exigencias de las normas de carácter administrativo, técnico, social y medioambiental que rigen actividades.	
Aspecto Legal	Puede formalizarse y presentar declaración de premiso. Puede llegar a ser formal.	No puede formalizarse, no puede llegar a ser formal.
Lugar de ejecución	No trabaja en zonas no permitidas por la ley (áreas protegidas).	Trabaja en zonas no permitidas por la ley (áreas protegidas).
Intervención del estado	No es sujeto de interdicción (persecución por el Estado y decomiso)	Es sujeto de interdicción (persecución por el Estado y decomiso o destrucción de maquinaria).

Fuente: DL N° 1105

2.1.4. Impactos de la actividad minera aurífera aluvial

Los impactos de la minera tanto formal como ilegal son diversos y complejos, ya que tales impactos afectan desde lo social y lo ambientales. Muchos autores describen mediante estudios las consecuencias y los impactos generados por esta actividad que no cuenta con ninguna regulación ni voluntad política de parte de los gobiernos de turnos, sin embargo, gracias a los aportes de los diferentes estudios hechos en la región de Madre de Dios podemos aproximar la magnitud de las consecuencias que esta origina.

Cuadro 3: Efectos de la minería a los ecosistemas

IMPACTO		DESCRIPCIÓN	FUENTE
Deforestación		Los resultados que estimaron en el periodo 1984 al 2017 muestra que habido casi 100, 000 ha de deforestación como resultado de la actividad artesanal minera.	(Caballero Espejo et al., 2018)
Bio magnificación del mercurio en los tejidos de los peces		Afirman que los peces de posición trófica más alta se correlacionan con tener niveles de mercurio más alto. Sin embargo, no se encontró un elevado contenido de mercurio en los peces en el río Malinowski afectado por la minería comparado con otros ríos muestreados.	(Martínez et al., 2018)
Ecosistema	sedimento	Los hallaron en este estudio demuestran que las concentraciones de Hg en los sedimentos del río Malinowski no están vinculados con la ubicación de la actividad minera; sin embargo, el transporte de mercurio está impulsado por cargas de material suspendido y estas controladas por las condiciones hidrológicas.	(Moreno-Bruch et al., 2016)
		Las cargas de Hg que emite la actividad minera explican un alto contenido de mercurio en los sedimentos, las muestras de sedimento demostraron ser mejores indicadores de la contaminación por mercurio.	(Martínez et al., 2018)
	Sistemas acuáticos	La mayoría de los parámetros de calidad de agua que analizaron no retratan los efectos de la minería artesanal; sin embargo, el aumento de la turbidez indicó degradación ambiental del río Malinowski afectado por dicha actividad.	(Martínez et al., 2018)

Continuación

Ecosistema	Aire	De las 300 toneladas emitidas de mercurio a la atmosfera estiman que 2,7 toneladas de Hg son liberados directamente sobre el río Malinowski entre los años 1995 al 2007. Sugieren que la mayoría del Hg permanece cerca de la fuente de emisión en forma de gotas metálicas de Hg, se transportan aguas abajo adsorbidos por la materia suspendida y acumulándose en los sedimentos distante de la fuente. Además, no se encontró un incremento del mercurio en la atmosfera, debido a que esa disposición solo ocurre cerca de los lugares donde queman la amalgama y también el Hg emitido está sujeto a transporte y dispersión de largo alcance.	(Moreno-Bruch et al., 2016)
		Deterioro del aire en el proceso de extracción, transporte y cargado de sedimentos, emisiones de dióxido de carbono y otros, también generación de polvo durante el tránsito	Rivera <i>et al.</i> , 2000
	Sistemas acuáticos	La mayoría de los parámetros de calidad de agua que analizaron no retratan los efectos de la minería artesanal; sin embargo, el aumento de la turbidez indico degradación ambiental del río Malinowski afectado por dicha actividad.	(Martinez et al., 2018)
	Suelo	El suelo es degradado por contaminantes como residuos sólidos como el combustible, gotas de mercurio entre otros. Erosión hidria y eólica causada por la remoción total de la superficie con cobertura vegetal. Compactación por el tránsito de maquinaria. Se calcula que al día son removidos 154.9693 m ³ de suelos por la actividad minera.	Álvarez <i>et al.</i> , 2011

Fuente: diversos autores

2.2. SUELO DEGRADADO

Según (Porta et al., 2014) menciona que la degradación del suelo es un proceso impulsado por las diferentes actividades del hombre, esto conllevaría a una disminución de la capacidad actual y futura del suelo para sostener la vida humana. Para Gibbs y Salmon (2015) es una reducción en la productividad de la tierra o suelo debido a la actividad humana, esto influye una serie de cambios físicos, químicos y biológicos y por otro lado Santalla y Ulloa (2013) mencionan que el suelo es un recurso limitado y que su uso inapropiado ocasiona la degradación que se manifiesta en erosión hídrica, eólica, compactación, deterioro de la estructura, agotamiento de nutrientes, acidificación y salinización.

2.3.FERTILIDAD BIOLOGICA DE LOS SUELOS DEGRADADOS

2.3.1. Fijación biológica del nitrógeno (Relación de la leguminosa y el *Rhizobium*)

El nitrógeno molecular (N_2) es la única fuente de nitrógeno (N) accesible a la biosfera. Prácticamente ilimitada, esta reserva no es utilizada de manera directa por los vegetales y animales. El N es un constituyente esencial de moléculas fundamentales de todos los seres vivos: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas. Para que el nitrógeno sea asimilado, es necesario reducirlo. Los seres vivos capaces de lograr esta reacción son las *eubacteria* y *archaea*, por el proceso denominado fijación biológica de nitrógeno (Baca et al., 2000).

(Baca et al., 2000) afirman que la fijación de nitrógeno funciona en bacterias adaptadas en ambientes ecológicos y estilos de vida muy diversos. Sin embargo, todas poseen el sistema enzimático responsable de la reducción del nitrógeno: la nitrogenasa.

Una de las características principales de las leguminosas es la relación simbiótica (cooperación mutua) que estas tienen con las bacterias del tipo *Rhizobium* fijadoras de nitrógeno del aire, las leguminosas le proporciona alimento y albergue a las bacterias mientras que estas a su vez, le proporcionan nitrógeno asimilable (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), 1986).

La fijación de nitrógeno de las leguminosas en cooperación con el *Rhizobium* convierte a cada planta en una pequeña “fábrica de nitrógeno gratuito” con el potencial ilimitado y continuo. Sin embargo, se aclara que no todos los *Rhizobium* son iguales, es decir que una misma cepa tiene la misma eficiente en diferente ambiente donde debe desarrollarse (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), 1986).

2.3.2. Mecanismo en la capacidad fijadora de nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno presentan una amplia diversidad taxonómica, con diferentes estilos de vida y de asociación con los vegetales. Sin embargo, sólo una pequeña proporción de especies son capaces de hacerlo. Las más eficaces son aquellas que se asocian con las plantas y por medio de estructuras diferenciadas producidas por la planta hospedera, llamados “nódulos”, localizados en la raíz de las leguminosas, en el interior de estas estructuras se localizan los microorganismos, desarrollando una simbiosis con la planta; esta simbiosis representa un modelo biológico experimental (Baca et al., 2000)

Baca *et al.* (2000) afirmaron que la simbiosis *Rhizobium*- leguminosa es el resultado de una interacción muy específica entre la planta y la bacteria. La organogénesis del nódulo es un proceso inducido por el “intercambio de señales” entre los dos participantes de la interacción, el microsimbionte (bacteria) y el macrosimbionte (planta).

Es esencial la unión del microorganismo a los pelos radicales de la planta. Sustancias con efecto mitógeno (factores de nodulación) son sintetizadas por productos de los llamados genes de nodulación del microsimbionte (genes *nod*), en respuesta a la excreción por la planta de sustancias tipo flavonoide. Es esencial la unión de la bacteria a los pelos de la planta. Sustancias con efecto mitógeno (factores de nodulación) son sintetizados por productos de los llamados genes de nodulación de la bacteria (genes *nod*), en respuesta a la excreción por la planta de sustancias de tipo flavonoide (Baca et al., 2000).

2.3.3. Limitaciones en la fijación simbiótica de nitrógeno

La fijación de nitrógeno en la asociación leguminosa-rizobium aun cuando agronómicamente es muy importante, tiene algunas limitaciones dadas las condiciones específicas que se deben dar para que ésta ocurra (Peña Venegas & Cardona Vanegas, 2010)

- a) Especificidad de la relación simbiótica lo que implica que cada especie de leguminosa tiene una bacteria simbiote específica, y que además está presente en el suelo para que se reconozcan y formen la asociación.
- b) Baja acidez en los suelos que permita la permanencia de las rizobacterias en el suelo
- c) La disponibilidad de elementos importantes en la simbiosis como el calcio que es clave en el reconocimiento inicial de los simbioses, fósforo componente de la molécula energética ATP que se consume en el proceso de fijación, el hierro y el molibdeno constituyentes de la enzima nitrogenasa.

Las bacterias fijadoras simbióticas de nitrógeno han co-evolucionado con su planta huésped específica, por lo que en suelos ácidos de la Amazonia colombiana se encuentran leguminosas nativas asociadas que fijan nitrógeno simbióticamente. Aun cuando la simbiosis leguminosa-rizobio se presenta en la Amazonia, la presencia de nódulos fijadores de nitrógeno es baja (entre el 25 a 41%). La baja presencia de nódulos fijadores de nitrógeno en raíces de leguminosas nativas, indica que esta simbiosis necesita de condiciones precisas para darse, observaciones de campo han demostrado que las leguminosas que crecen en suelos con alta intervención tienden a no establecer simbiosis con bacterias fijadoras, presumiblemente por la separación de su bacteria simbiote específica (Peña Venegas & Cardona Vanegas, 2010).

La simple presencia de nódulos viables en las leguminosas no determina la eficiencia de la leguminosa como fijadora de nitrógeno, solo indica que esta tiene capacidad para fijar. Los volúmenes de nitrógeno fijado dependen de la capacidad de la cepa bacteriana que se asocia con la leguminosa, no teniendo relación con el número o tamaño de nódulos presentes. En este sentido, es posible que aunque la presencia de nódulos fijadores de nitrógeno en leguminosas nativas sea baja, estos sean muy eficientes aportando cantidades significativas de nitrógeno de vida libre (Peña Venegas & Cardona Vanegas, 2010).

2.3.4. Factores que influyen en la fijación biológica de nitrógeno en suelos tropicales

2.3.4.1. pH del suelo y sus efectos en la fijación de Nitrógeno

En los suelos ácidos la fijación de nitrógeno puede ser marcadamente reducida. Esto se da por el efecto directo de la concentración de H^+ , la presencia de niveles de toxicidad de aluminio y manganeso, o deficiencia de calcio, fósforo. Las especies del género *Rhizobium* son generalmente más sensibles a la acidez (Coney, 2000) citado por (Del Aguililla Tello, 2004).

2.3.4.2. La temperatura y factores nutricionales

El *Rhizobium* crece a una temperatura entre 26 a 32°C, sostiene Allen, 1972 citado por Agreda, 1986. Para una eficiente fijación simbiótica es necesario que existan en forma adecuada los nutrientes tanto para el hospedero como para el *Rhizobium* (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), 1986).

Según (Graham & Vance, 2000) argumentaron que el fósforo es el elemento más limitante del crecimiento de las leguminosas tropicales y subtropicales. El calcio, el molibdeno, etc. también son escasos en los típicos y a veces decisivos para una buena fijación simbiótica del nitrógeno.

2.3.5. Funciones del uso de cobertura del suelo para recuperación de suelos degradados

Según la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1997) indicó que las funciones en la recuperación de suelos son:

- Proteger la capa superficial del suelo contra las lluvias de alta intensidad, el sol y el viento.
- Mantiene elevadas tasas de infiltración de agua por el efecto combinado del sistema radicular y de la cobertura vegetal. Las raíces después de su descomposición dejan

canales en el suelo y la cobertura evita una desagregación y sellado de la superficie y reduce la velocidad de la escorrentía.

- Promueve un considerable y continuo aporte de biomasa al suelo, de manera que mantiene e incluso eleva, a lo largo de los años, el contenido de materia orgánica y atenúa la amplitud térmica y disminuye la evaporación del suelo, aumentando la disponibilidad de agua para los cultivos comerciales.
- Por medio del sistema radicular, rompe capas duras y promueve la aireación y estructuración del suelo, induciendo la preparación biológica del suelo.
- Promueve el reciclaje de nutrientes; el sistema radicular bien desarrollado de muchos abonos verdes tiene la capacidad de traslocar los nutrimentos que se encuentran en capas profundas hacia las capas superficiales del suelo, poniéndolos a disposición de los cultivos posteriores.
- Disminuye la lixiviación de los nutrimentos; la ocurrencia de lluvias intensas y de precipitaciones elevadas normalmente induce a un intenso proceso de lixiviación de nutrientes. El abono verde, al retener nutrientes en la fitomasa y liberarlos de forma gradual durante la descomposición del tejido vegetal, atenúa este problema.
- Promueve la adición de nitrógeno al suelo a través de la fijación biológica de las leguminosas, esto puede representar una importante economía de este elemento en la fertilización de los cultivos comerciales, además de mejorar el balance de nitrógeno del suelo.
- Reduce la población de malezas a través de efecto supresor y alelopático ocasionado por el rápido crecimiento y exuberante desarrollo de la biomasa.
- El crecimiento de los abonos verdes y su descomposición activan el ciclo de muchas especies de macroorganismos y principalmente microorganismos del suelo, cuya actividad mejora la dinámica física y química del suelo.

- Presenta múltiples usos en la propiedad agrícola; algunos abonos verdes poseen elevada calidad nutritiva, pudiendo ser utilizados en la alimentación animal, en la alimentación humana y hasta ser utilizado como fuente de madera y leña.

2.4 LEGUMINOSAS

2.4.1. *Crotalaria juncea*

La *Crotalaria juncea* es una leguminosa ramificada, alcanza una altura de más de un metro con veinte centímetros en 60 días, siempre que se cultive en condiciones favorables. Puede alcanzar una altura de más de 1,8 metros en aproximadamente noventa días. Las flores de color amarillo brillante, y normalmente 18 a 20 de ellos se desarrollarán en racimos terminale (Rotar & Joy, 1983). Es usado como cultivo de cobertura, dicha leguminosa puede mejorar las propiedades del suelo, reducir la erosión del suelo, conservar la humedad del suelo y reciclar los nutrientes de la planta (Wang et al., 2001).

2.4.1.1.Descripción taxonómica

Según el ministerio de agricultura de los Estados Unidos (Agriculture United States Department of Agriculture (USDA), 2012), por sus siglas en inglés) la crotalaria tiene la siguiente descripción taxonómica:

Reino:	Plantae
Subreino:	Tracheobionta
Superdivisión:	Spermatophyta
División:	Magnoliophyta
Clase.	Magnoliopsida
Sub clase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae/ Leguminosae
Género:	<i>Crotalaria L.</i>
Especie:	<i>Crotalaria juncea L.</i>

2.4.1.2.Fijación de nitrógeno

C. juncea se usada como abono verde, ya que dicha leguminosa puede fijar nitrógeno en el suelo, también cumple otras funciones como: reducir la erosión del suelo, conservar la humedad del suelo, suprimir las malas hierbas y los nematodos, y reciclar los nutrientes de las plantas. Crece rápidamente y puede producir más de 5000 lb de materia seca/acre (0.56 kg de materia seca por área cuadrada) y 120 lb de nitrógeno/acre (0.01345 kg de nitrógeno por metro cuadrado) entre nueve a doce semanas (Clark, 2007).

Diferentes autores exponen confirman que la *Crotalaria juncea* es una especie de exuberante desarrollo, que se adapta a las condiciones tropicales de altas lluvias, altas temperaturas y días largos, produciendo abundante masa seca que varía de cuatro a ocho toneladas por hectárea y el contenido de nitrógeno oscila de 140 a 160 kilogramo por hectárea (García et al., 2001) (García et al., 1996).

2.4.2. *Stylosanthes guianensis*

Stylonsanthes es una planta erecta de crecimiento herbáceo perenne, que puede llegar a crecer hasta un metro de altura en promedio. Posee tallos velludos, y hojas trifoliadas que puede tener de 15 a 55 milímetros de largo y entre siete a trece milímetros de ancho cuanta con flores amarillas. Sus raíces son de crecimiento profundo (Alfaro-Blanco, 2015). Se adapta bien en diferentes suelos, pero su desarrollo es más eficiente en suelos de baja fertilidad, ácidos de pH entre 3,5 a 6,5 y bien drenados (Gonzalez Castillo & Chow Montenegro, 2008)

2.4.2.1. Descripción taxonómica

Según el ministerio de agricultura de los Estados Unidos ((Agriculture United States Department of Agriculture (USDA), 2012) por sus siglas en inglés) la *crotalaria* tiene la siguiente descripción taxonómica:

Reino:	Plantae
Subreino:	Tracheobionta
Superdivisión:	Spermatophyta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Sub clase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae/ Leguminosae
Género:	<i>Stylosanthes</i> Sw.
Especie:	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw.

2.4.2.2. Fijación de nitrógeno

La posible fijación simbiótica de nitrógeno por las leguminosas depende de la actividad máxima de dichas leguminosas cuando se nodula con los Rizobios más efectivos y crece bajo condiciones ambientales más favorables, investigaciones concluyen que las leguminosas forrajeras tropicales en África tienen un buen manejo, un potencial similar a que se registró en Australia, una de dichas leguminosas es la *Stylosanthes guianensis*, quien registró una fijación de nitrógeno promedio de 290 kg/ha en Sub-saharian Africa en el año de 1971 (Haque & Jutzi, 1984). Otras investigaciones reportan que el porcentaje de los suelos cuando tienen al *stylosanthes guianensis* fueron de 0.106% y un contenido total de nitrógeno en su masa seca de 0.0886 % (Saleem & Otsyina, 1984).

2.4.3. *Pueraria phaseoloides*

Pueraria Phaseoloides es una leguminosa herbácea perenne, vigorosa. Sus tallos principales tienen alrededor de 0.6 m de diámetro y pueden alcanzar hasta 6 m de largo. Las hojas son largas, trifoliadas y nacen sobre peciolo de 5 a 10 cm de longitud, cubiertas con pubescencias ascendentes especialmente en las venas, las flores varían de un color púrpura y blanco a un púrpura intenso y se presentan en pares. ((Arias, 1986); (Acevedo-Rodríguez,

2005)). Según (Kerridge, 1978) dicha leguminosa se adapta a suelos ácidos y de baja fertilidad. Se adapta bien a suelos ácidos con pH menores a 4,5 y de textura arcillosa, se recomienda al Kudzu cuando el suelo es muy pobre o está erosionado para usarlo como cultivos de cobertura (Juárez, 2003).

2.4.3.1.Descripción taxonómica

Según el ministerio de agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) la crotalaria tiene la siguiente descripción taxonómica:

Reino:	Plantae
Sub reino:	Tracheobionta
Superdivisión:	Spermatophyta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Sub Clase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae / Leguminosae
Género:	<i>Pueraria DC</i>
Especie:	<i>Pueraria phaseoloides (Roxb.) Benth., 1867</i>

2.4.3.2. Fijación de nitrógeno y fertilización

En el siguiente cuadro 4 se resume y se exponen los resultados de diversos estudios acerca de la capacidad de fijación de nitrógeno que tienen la *Pueraria phaseoloides*.

Cuadro 4: Cantidad de nitrógeno fijado por la Pueraria

Descripción	Resultado	Fuente
Durante tres meses de crecimiento de la leguminosa se estimó la cantidad fijada de nitrógeno.	La fijación de N de <i>Pueraria</i> fue 65 kg ha ⁻¹	(Joseph, 1970)
Estudio el crecimiento de la <i>Pueraria</i> durante un periodo de un año que crece en una plantación de palma aceitera en Malasia.	Estimó una fijación biológica de 155 kg N ha ⁻¹ año ⁻¹	(Zaharah et al., 1986)
Se evaluó la respuesta del Kudzú a la fertilización con cantidades diferentes de N, K ₂ O, CaO y P ₂ O ₅	Los tratamientos donde se incluyó Fósforo y Potasio fueron donde se obtuvieron los rendimientos más altos	(Dirven & Ehrencrow, 1963)

2.4.4. *Centrosema macrocarpum*

Según (Schultze-Kraft et al., 1997) la definen como una leguminosa herbácea con adaptación a suelos de baja a mediana fertilidad, alta acidez, desde francos a franco arcillosos, no tolera exceso de humedad y soporta periodos de hasta 5 meses de sequía. (Puertas et al., 2008) establece que esta cobertura genera una buena producción de biomasa foliar y radicular sobre la base de materia seca, sin embargo, esta cobertura extrae cantidades significativamente mayores de N-P-K que otras coberturas probadas.

2.4.4.1.Descripción taxonómica

Según el ministerio de agricultura de los Estados Unidos ((Agriculture United States Department of Agriculture (USDA), 2012), por sus siglas en inglés) la crotalaria tiene la siguiente descripción taxonómica:

Reino: Plantae
Subreino: Tracheobionta
Superdivisión: Spermatophyta
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Sub clase: Rosidae
Orden: Fabales
Familia: Fabaceae/ Leguminosae
Género: *Centrosema (DC) Benth.*
Especie: *Centrosema macrocarpum Benth.*

2.4.4.2.Fijación de nitrógeno

(Cadish & Sylvester-Bradley, 1986) usaron la técnica de dilución del ^{15}N , con esa técnica midieron la cantidad de fijación de nitrógeno por la *Centrosema macrocarpum* y otra especie del mismo genero, durante el periodo de crecimiento más vigoroso, de 55% a 75% del nitrógeno, el porcentaje representa de 7 a 25 kg/ha de nitrógeno en 38 días, en las dos especies de *Centrosema* provino de la fijación, el porcentaje de nitrógeno fijado por las dos especies de *Centrosema* aumentó con la fertilización de P y K.

2.4.5. *Canavalia ensiformis*

Esta leguminosa tiene un crecimiento óptimo a un pH entre 5-6, crece en suelos tropicales degradados donde otras especies de leguminosas no crecerían, además, esta planta ha demostrado ser una especie útil en recuperación de suelos tropicales debido a su sistema de raíces profundamente penetrantes que proporciona una alta tolerancia a la sequía (Price & Berkelaar, 2005).

Debido a su tolerancia a la sombra, la canavalia se utiliza en Honduras como cultivo de cobertura en asociación con el café. Estudios en Cuba reportaron que la canavalia produjo

una biomasa total de 5.3 T/ha, además de que fija más de 200 kg /ha de N por año. Se puede usar como abono verde o como forraje para animales rumiantes (Acosta, 2009)

2.4.5.1. Descripción taxonómica

Según el ministerio de agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) la crotalaria tiene la siguiente descripción taxonómica:

Reino: Plantae
Subreino: Tracheobionta
Superdivisión: Spermatophyta
División: Magnoliophyta
Clase. Magnoliopsida
Sub clase: Rosidae
Orden: Fabales
Familia: Fabaceae/ Leguminosae
Género: *Canavalia* Adans.
Especie: *Canavalia ensiformis* (L.) DC.

2.5. EFECTOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

En función de la cantidad y calidad de materia verde producida, varias especies de abonos verdes pueden promover el reciclaje de nutrientes, el aporte de nitrógeno y el mantenimiento o aumento de los niveles de materia orgánica en el suelo. Según Muzilli et al (1980) citado por la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1997), la contribución de abono verde en la mejora del contenido de materia orgánica es dependiente de la cantidad de residuos incorporados, de la frecuencia de incorporación y de la calidad del material.

La capacidad de reciclaje de nutrientes es reconocida a través de numerosos trabajos de investigación el reciclaje de nutrientes puede ocurrir en cuatro situaciones:

- a) El nutriente lixiviado hacia las capas profundas del suelo, fuera del alcance de las raíces de los cultivos económicos, es trastocado hasta la superficie del suelo y puesto

a disposición de los cultivos, después de la incorporación del abono y mineralización de su materia orgánica.

- b) El nutrimento que está localizado en la capa arable es incorporable al tejido vegetal del abono verde y protegido de un posible arrastre por la erosión; después de la incorporación y mineralización de la biomasa del abono verde, el nutrimento queda nuevamente disponible para las plantas;
- c) Las leguminosas, a través de la simbiosis con el *Rhizobium* promueven el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico. Es posible que especies no leguminosas posean concentraciones de nitrógeno semejantes o superiores a los niveles de las leguminosas; en este caso, existe un excedente aprovechamiento del nitrógeno nativo del suelo una vez que no es constatada la simbiosis característica.
- d) La transformación de nutrimentos que se encuentran en forma no disponible en una forma rápidamente asimilable (asociación con micorrizas).

2.5.1. Indicadores físicos

las características físicas del suelo son una parte importante en la evaluación de la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente Chen (2000) modificado por (Acevedo et al., 2005), refiere que las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son

Cuadro 5: : indicadores físicos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo	Valores o unidades relevantes
Textura	Retención y transporte del agua y minerales; erosión del suelo	% (arena, limo y arena)
Infiltración	Potencial de lixiviación, productividad y erosión	Cm/hora

2.5.1.1. Textura del suelo

la textura del suelo se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla expresados como porcentajes en peso. A diferencia de otras propiedades físicas, la textura es una característica permanente de los suelos. (Casanova, 2005).

Cuadro 6: Principales características de los diferentes tipos de suelos

Suelo arcilloso (>30% arcilla)	Suelo franco (10-30% arcilla)	Suelo arenoso (<10% arcilla)
Retienen el agua y los nutrientes con fuerza.	Adecuada retención de agua y nutrientes.	Retiene poca humedad y tienden a secarse.
Suelos encharcados y mal aireados.	Buena aireación.	Posee baja fertilidad y necesitan aportes de elementos orgánicos e inorgánicos.
Difícil drenaje y labranza.	Buena penetración de raíces se trabaja con poca resistencia.	Buena aireación.

FUENTE: (Casanova, 2005)

2.5.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos propuestos en el cuadro 7 (ver cuadro) se refiere a los parámetros que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (SQI, 1996).

Cuadro 7: Indicadores químicos de la calidad del suelo

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo	Valores o unidades relevantes
Contenido en materia orgánica	Fertilidad de suelo, estabilidad y grado de erosión, potencial productivo	Kg (C ó N)/ Ha
pH	Actividad química	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y crecimiento de plantas	dS/m; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P. K extraíbles	Disponibilidad de nutrientes para las plantas, indicadores de productividad y calidad ambiental	Kg/ Ha; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos.
CIC	Fertilidad del suelo, potencial productivo.	meq/100g

Fuente: Chen (2000) modificada por (Acevedo et al., 2005).

2.5.2.1. Materia Orgánica

La cantidad de materia orgánica de un suelo depende del material vegetal, de la textura del suelo y del pH (Andrades & Martínez, 2014). Su adecuada proporción favorece el desarrollo de una buena estructura, mejorando la aireación del suelo y capacidad de retención del agua.

Los suelos tropicales tienen contenidos bajos de materia orgánica debido a las altas temperaturas y rápidas tasas de descomposición. Por lo tanto, hay que hacer el esfuerzo que sea necesario para conservar la poca materia orgánica existente y por consiguiente la conservación de materia orgánica es esencial para la productividad de los suelos tropicales (Sánchez, 1981)

Cuadro 8: Característica de los suelos con respecto al material orgánico

Clasificación	Arenoso	Franco	Arcilloso
Muy bajo	<0.7	<10	<1.2
Bajo	0.7 - 1.2	1.0 – 1.5	1.2 -1.7
Normal	1.2 – 1.7	1.5 – 2.0	1.7 – 2.2
Alto	1.7 – 2.2	2.0 – 2.5	2.2 – 3.0
Muy alto	>2.2	>2.5	> 3.0

FUENTE: (Andrades & Martinez, 2014)

2.5.2.2.pH

(Buckman & Brady, 1996), consideran al pH una de las características más importantes del suelo, siendo tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad y alcalinidad; por lo general la acidez del suelo es común en todas las regiones donde la precipitación es alta, lo que ocasiona la lixiviación de grandes cantidades de bases intercambiables de los niveles superficiales de los suelos; en este caso. La solución del suelo contiene más iones hidrógeno (H^+) que oxidrilos (OH^-).

El pH es uno de los parámetros más importantes para definir la movilidad del catión, según (Navarro Garcia & Navarro Simón, 2013) indicaron que la relación general entre el pH del suelo y la disponibilidad de los elementos.

- La solubilidad de las sales amónicas y nítricas es elevada en todo el intervalo de pH que puede presentar el suelo.
- La disponibilidad del fósforo disminuye a pH inferior de 6.5 debido a que el hierro y el aluminio se encuentran tanto más solubilizados cuando menor es el pH, y provocan la precipitación del fósforo como fosfatos insolubles. A pH 6.5 las cantidades de hierro y aluminio solubles son muy pequeñas, con lo que la citada precipitación se reduce. Entre 6,5 y 7, la utilización del fósforo es máxima. A pH superior a 7.5 el calcio provoca su precipitación. Por encima de 8.5 el exceso de sales sódicas contribuye a su solubilización.
- La solubilidad del potasio y de los compuestos de azufre es, al igual que en el caso del nitrógeno, alta en todos los valores de pH considerados, aunque la cantidad de azufre en condiciones muy ácidas disminuye debido a las pérdidas por lixiviación.

2.5.2.3.Fósforo (P) y Potasio (K) extraíbles

la principal razón para medir el fósforo en el suelo es para evitar su deficiencia en la planta y producir el requerimiento de fertilizante (Lopez, 1990)

Fósforo (P)

El contenido adecuado de fósforo en el suelo es de gran importancia para el desarrollo de las plantas (Porta et al., 2014), por intervenir en funciones fundamentales, como son:

- Favorece el desarrollo de las raíces.
- Estimular el crecimiento y el desarrollo vigoroso de las plantas.
- Favorecer la floración y fructificación, con ello la cantidad y calidad de los frutos y semillas.

Cuadro 9: Valores de contenido de fósforo respecto a tipo de suelo

P (ppm)	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Arenoso	<8	9 - 12	>13
Franco	<12	13 -18	>19
Arcilloso	<15	16 - 24	>25

Fuente: Porta et al. (2003)

Potasio (K)

Según Porta et al. (2003), el mantenimiento de determinados niveles de potasio es decisivo para que este pueda desempeñar sus distintas funciones en las plantas, entre las que se pueden señalar:

- Favorecer a la formación de hidratos de carbono.
- Incrementar la consistencia y dureza de los tejidos de las plantas dando una mayor resistencia a ciertas enfermedades.

Cuadro 10: Valores de contenido de potasio respecto a la clase de suelo

K (ppm)	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Arenoso	<95	96 - 135	>136
Franco	<125	126 - 195	>196
Arcilloso	<155	156 - 255	>256

FUENTE: Porta et al. (2003).

2.5.2.4. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) permite estimar las sales solubles en el suelo, a partir de un extracto acuoso. Este extracto sirve también para determinar los aniones y cationes solubles (Andrades & Martinez, 2014)

Cuadro 11: Clasificación del suelo según su conductividad

CE (dS/m)	Clasificación
<0.35	No salino
0,35 – 0.65	Ligeramente salino
0.65 – 1.15	Salino
0.65 – 1.15	Salino
>1.15	Muy salino

Fuente: Porta et al. (2003)

2.5.2.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC):

La CIC se define como la cantidad de cationes reversiblemente adsorbidos (expresados como moles de carga positiva) por unidad de peso mineral. La capacidad de intercambio catiónico esta rígida principalmente por la cantidad y el tipo de arcilla presente en determinado suelo, así como la cantidad de materia orgánica descompuesta (humus), porque partículas presentan cargas negativas que logran retener en ellas iones con cargas positivas (cationes) (Arias, 2001).

2.6. SIMBIOSIS ENTRE LEGUMINOSA Y RHIZOBIUM COMO HERRAMIENTA PARA LA BIORREMEDIACIÓN

2.6.1. El microsimbionte (bacteria) y los metales pesados

Muchos metales livianos como Ca, Na, K, Mg, y otros metales pesados como Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni o el Zn juegan un rol en los procesos de los microorganismos, algunos de esos metales son micronutrientes esenciales actuando como cofactores de las enzimas, otros como el Cd, mercurio (Hg), y el Pb no tienen una función biológica conocida, afecta las células microbianas a través de procesos como estrés oxidativo (Pajuelo et al., 2016). La toxicidad de dichos metales pesados (Cd, Hg y Pb) en adición con deficiencias de fósforo y nitrógeno son los tres mayores factores limitantes en la revegetación de suelos contaminados y degradados (Giller et al., 1998).

El uso de las leguminosas tiene las siguientes ventajas al usarlo en zonas degradadas o contaminadas (De-Bashan et al., 2012): Primero, las leguminosas mejoran las características del suelo, es decir inmovilizan contaminantes, aumentan contenido orgánico, modifican la población en la rizosfera, lo que origina que otras especies de plantas en ambientes contaminados/degradados sea posible, en segundo lugar la mayor diversidad de microorganismos, incluidos las rizobacteras ayudan a inmovilizar los metales y mejorar el crecimiento de las plantas. Una característica clave de la utilidad de las leguminosas como fitorremediador es su papel en incorporar compuestos nitrogenados al suelo, con ello mejora la fertilidad y capacidad para apoyar el crecimiento biológico.

Las leguminosas podrían clasificarse en dos tipos de aplicación: fitoestabilización y fitoextracción, para la fitoestabilización, debido a la contribución de los rizobios, la adsorción de metales por ambas raíces y brotes aumenta a medida que la biomasa aumenta, sin embargo dado que el aumento de la biomasa de los brotes es mayor que el aumento de la biomasa radicular, la concentración de metales en las raíces es mayor comparada a los brotes, sin embargo también hay algunas leguminosas que muestran un patrón diferente en cuando a la acumulación de metales pesados en los brotes, la concentración del metal aumenta a medida que aumenta su biomasa, la mayoría de leguminosas según (Rate et al.,

2004) están por debajo del umbral permitido, lo que es seguro aplicar las leguminosas, sin embargo existen algunas leguminosas como *lupinus albus* que es un hiperacumulador de metal (Pastor et al., 2003); (Vásquez et al., 2008), por ello sería problemático en áreas donde existe pastoreo.

Las leguminosas además de su capacidad para fijar nitrógeno, las especies de *Rhizobium*, también podrían ayudar al crecimiento de las plantas mediante la adsorción y la tolerancia a los metales como muestra la figura 1, los que nodulan pueden aumentar la acumulación de metales en los nódulos de la raíz, mientras los que permanecen en la rizosfera reducirán la toxicidad de los metales en la rizosfera por precipitación, quelación, inmovilización y biosorción, los nódulos pueden servir como áreas de amortiguamiento del metal y proporciona a la planta un lugar adicional para almacenar metales y reducen el riesgo de exposición directa de la planta, los nódulos que contienen altas concentraciones de rizobios también podrían servir como biosorbentes o almacenamiento de metales Chem y col, (2008). Sin embargo, la contaminación por metales pesado reduce la biomasa microbiana (Xie et al., 2016), afectando la fijación simbiótica de nitrógeno.

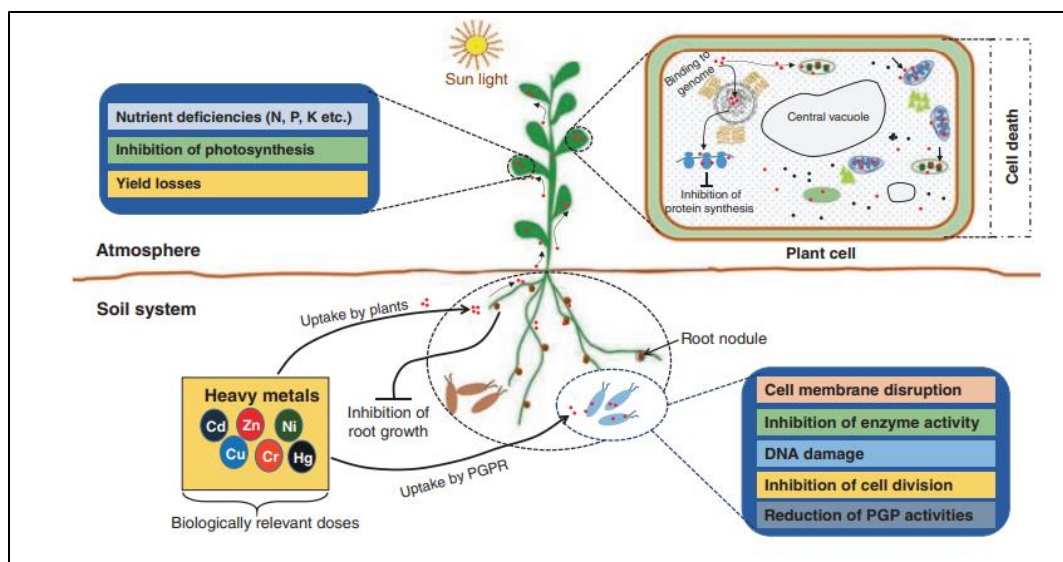


Figura 1: Toxicidad de metales pesados al crecimiento de las leguminosas

FUENTE: Saif et al., 2017

2.6.2. Impacto de los metales pesados en la producción de leguminosas

Cuando se cultivan leguminosas en suelos contaminados con metales, estas evidencias de problemas de absorción de agua y nutrientes, síntomas de lesión, envejecimiento prematuro, crecimiento retardado, disminución de la simbiosis Leguminosa-Rhizobium y la disminución de la biomasa fresca de brotas y raíces, además después de la absorción por las plantas y la translocación a varios órganos, los metales pueden interactuar directamente con los órganos celulares e interrumpe las actividades metabólicas y estas causan lesiones celulares y en algunos casos la muerte. La longitud, la superficie y el volumen de las raíces también disminuye bajo los efectos de la toxicidad del metal pesado (Saif et al., 2017)

Los resultados en diversas investigaciones son diversas, una de ellas revelo que las cepas de rizobios diferían en la tolerancia a las concentraciones aplicadas de metales pesados. En general todas las cepas de rizobios mostraron la menor tolerancia a Ni y Cu, mientras la mayoría de las cepas exhibieron mayor tolerancia a Pb, Zn y Hg. En otro estudio, las cepas de *Rizobium* capaces de formar nódulos fueron expuestas a cinco metales como Fe, Al, Mo, Co y Hg, de estos metales, todas las concentraciones de Co y Hg mostraron efectos perjudiciales (Rane et al., 2014)

2.7. MERCURIO Y SUS PROPIEDADES

El mercurio es un elemento del grupo IIIB de la tabla periódica cuyo peso atómico es 200.59 y número atómico es 80 (Alloway, 1990), es un elemento constituido de la tierra, metal pesado ligeramente volátil a temperatura ambiente, siendo el único elemento metálico que permanece líquido a temperatura ambiente (Ferreira et al. 2010).

Los suelos normalmente suelen contener entre 20 a 150 ppb de mercurio, y por lo general el mercurio se une fuertemente a los componentes orgánicos del suelo, lo que origina que su movilidad por lixiviación sea mínima y con ella la contaminación del agua subterránea sea poco probable (Patra y Sharma. 2000).

2.8. CONTAMINACIÓN DE SUELO CON MERCURIO

Los niveles de mercurio promedios en la superficie del suelo reportados a nivel mundial no superan los 0.4 ppm, según (Landa. 1978), informa que las pérdidas de mercurio por volatilización de suelos aumenta con temperatura del suelo, también con una mayor alcalinidad, es de suma importancia saber cual es el comportamiento del mercurio en suelos contaminados, ya que su biodisponibilidad de este metal crea un peligro importante para la salud, la volatilización de Hg en suelos contaminados con dicho metal puede generar un efecto adverso a la salud humana cuando excede la concentración de referencia de inhalación según el EPA de 300 ngHg/m³.

Wallschläger et al. 1996, han demostrado que una pequeña parte del mercurio (aproximadamente 1%) del total presente en el suelo contaminado puede ser movibilizada por el agua, y mediante la forma de un complejo con el ácido húmico, por el contrario los ácidos fúlvicos y las partículas no parecen contribuir a ese proceso, Por el contrario de otros metales, la movilidad del mercurio disminuye a pH menores a 3 y a pH mayores a 12, ya que la capacidad amortiguadora es alta de los ácidos húmicos, ya sea en estados ácidos como alcalinos. Mou et al estimaron que el humus-Hg se libera con mayor facilidad por evaporación y lixiviación en comparación con el mineral-Hg.

En los últimos años el mercurio es usado en el proceso de amalgamación de oro, en minas de oro de Barsil (región amazónica), la emisión de mercurio durante la década de 1980 estimaron en alrededor de 80 T/año, (Mallas y Benedicto. 1986) estimaron que las pérdidas de mercurio en un área minera son de 1.32 kg por kilogramo de oro, la cantidad de mercurio usado para la minería de oro en Brasil se estima es de 50 toneladas en 1985 y esta cifra aumento a 5000 toneladas en 1995. (Yagolnister et al. 1995) afirmaron que 210 toneladas de mercurio permanecen en el medio ambiente y que tales cantidades de mercurio agregadas al medio crean un riesgo alto, debido a la transferencia a la cadena alimentaria. Un incremento de la carga de mercurio es una amenaza especialmente grave en la región amazónica, ya que las condiciones climáticas hacen que el mercurio tenga una mayor movilidad.

2.9. MERCURIO EN LAS PLANTAS

Existe mucha evidencia de que el aumento de mercurio en los suelos generalmente provoca un aumento en el contenido de mercurio de las plantas. Se registró que la tasa de aumento del contenido de la concentración del mercurio en las plantas cuando el suelo es la única fuente de dicho metal en las plantas es más alto el contenido en la zona de la raíces, las hojas también acumularon mucho mercurio (Kabata-Pendias. 2001). Dichos hallazgos muestran que el sistema de raíces absorben fácilmente el mercurio. También se trasloca en las plantas. Se sabe que las plantas adsorben directamente el vapor de Hg, (Browne y Fang. 1978) informaron que la velocidad de absorción de vapor de Hg está particularmente influenciada por la iluminación, pero no se ve afectada por la temperatura del ambiente, por lo tanto el Hg del suelo no solo es adsorbido por las plantas, sino también por el vapor de mercurio liberado gradualmente por los suelos. Las formas solubles de Hg en los aerosoles son fácilmente adsorbidas y transportadas dentro de las plantas, el Hg se une fuertemente a los átomos de azufre de los aminoácidos, proteínas y enzimas, este metal se transporta con relativa facilidad en las plantas. Se observaron efectos tóxicos en algunas plantas como la cebada joven a un nivel de Hg de 3 ppm y se informó a una concentración de 0.01 ppm era severamente tóxico.

Siegel et al. 1987, afirmaron que el mercurio en vapor acelera procesos los procesos relacionados con la senescencia a través de la producción elevada de etileno, la forma de mercurio más tóxica es la elemental, no el iónico, también descubrieron que las plantas jóvenes son mucho más sensibles al aire saturado con mercurio comparadas a plantas maduras, (Kloke et al. 1984) afirman el retraso del crecimiento de especies de plantas con un contenido de Hg, entre 0.5 a 1 ppm (peso seco de muestras), por otro lado (Macnicol y Beckett, 1985) establecieron que el valor crítico de Hg es de 1 a 8 ppm (peso seco de las muestras) y (Mhathre y Chaphekar. 1984) observaron daños a las plantas incluso a una concentración de 1 ppb de mercurio en la solución nutritiva. La acumulación del mercurio en los tejidos de la raíz inhibe la absorción del potasio por las plantas.

Rovinskiy et al. 1979 establecieron un rango de 10 a 160 ppb (peso seco) de mercurio, un promedio de 50 ppb, en pastos del norte de Kazajstán; y otras observaciones muestran que los niveles naturales de Hg en pasto y leguminosas de alimentación no exceden los 100 ppb (peso seco de muestra). Las plantas tienen diferentes capacidades para absorber el mercurio en sus tejidos cuando crecen en suelos contaminados por mercurio, por lo general el

contenido de mercurio en los tejidos de las plantas es alto, cuando la concentración del dicho metal en el suelo también es alto, pero esa relación no es universal, ya que existen varios estudios que difieren dicha relación. Ciertas especies de plantas adsorben más Hg que otras plantas cultivadas en un mismo sitio, debido a que algunas partes tienen una mayor capacidad de adsorber Hg (Kabata-Pendias. 2001)

Se realizaron experimentos para estudiar la absorción, la fitotoxicidad y la distribución interna del mercurio en las plantas de tabaco, estas fueron expuestas al vapor de mercurio elemental (Hg^0) a través de los brotes o al mercurio iónico (Hg^{+2}) a través de las raíces, la acumulación, la respuesta de toxicidad y la distribución de mercurio diferían entre las dos rutas de exposición, la plantas expuesta al mercurio elemental (Hg^0) acumuló mercurio en los brotes y dicha acumulación no tuvo movimiento hacia las raíces, las plantas expuestas a la raíz mostraron la acumulación de mercurio con movimiento desde la raíz hasta la parte superior (Patra y Sharma. 2000).

2.10. INVESTIGACIONES DEL CONTENIDO DE MERCURIO EN SUELOS DEGRADADOS EN MADRE DE DIOS POR LA MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL

Muchas investigaciones en la zona impactada de Madre de Dios por la minería aluvial han determinado niveles bajos de mercurio en los suelos impactados por dicha actividad, a pesar de las grandes cantidades (80 toneladas /año) de uso este como insumo para la obtención del oro, y eso es debido principalmente a las características físico químicas de dicho metal, a eso sumarle también los factores externos que hacen que su movilidad sea alta en el medio, solo por mencionar algunas de esas investigaciones. Velazquez, 2016 evaluó la concentración y distribución de Hg tanto en áreas impactadas por minería como las no impactadas por la actividad minera, y afirmó que tanto en áreas impactadas como no impactadas el mercurio fue detectado, postulando que el mercurio empleado por dicha actividad con el paso del tiempo se disipa por la lixiviación a causa de las lluvias y la volatilización en el ambiente.

Se reporta en otras investigaciones también datos de mercurio en el suelo de la zona de San Jacinto, en la zona impactada por la minería declara Chinen, 2020 una concentración

promedio de 0.0194 mg/kg de peso seco, también sustenta que otras investigaciones reportan resultados parecidos a sus resultados, como el caso de de Pereira et al. 2009, donde afirman que el contenido de suelos provenientes de minería en Mato Grosso en Brasil fue de 0.12 mg/kg.

2.11. FACTOR DE TRANSLOCACIÓN (TF)

Su valor corresponde al cociente entre la concentración del metal en los órganos y raíz (Olivares, 2009). Valores superiores a 1 sugieren gran capacidad de transportar metales desde las raíces a los vastagos, dado a los eficientes sistemas de transporte de metales (Zhao et al., 2002) y por secuestro de metales en las vacuolas de las hojas y en el apoplasto (Lasat et al., 2000). Por el contrario, las plantas no acumuladoras tienen una alta concentración de metal en las raíces que en hojas y tallos (Baker, 1981; Brown et al., 1995).

El Factor de Translocación se determina a través de la siguiente fórmula (Olivares, 2009).

$$TF = \frac{[Metal] \text{ en parte aérea}}{[Metal] \text{ en raíces}}$$

De acuerdo a Deng *et al.*, 2004 y Audet y Charest (2007), definen el valor de TF como:

TF > 1, Existe una eficiente translocación del metal a brotes, por lo que la planta puede usarse con fines de Fito-extracción

TF < 1, Existe una baja translocación del metal, el cual es retenido principalmente en las raíces, la planta puede usarse con fines de Fito-estabilización.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación política

El presente estudio se realizó en la comunidad nativa de San Jacinto se encuentra ubicado a 39.8 km al suroeste de la ciudad de Puerto Maldonado, capital del departamento, situado políticamente en el distrito de Tambopata, provincia de Tambopata y departamento de Madre de Dios.

El clima de acuerdo con el Mapa de regiones climáticas del Perú elaborado por el SENAMHI, la comunidad nativa San Jacinto se encuentra dentro de la zona climática A(r)A'H4, es decir cuya nomenclatura es una zona con altas precipitaciones, cálido. con humedad relativa calificada como húmedo (SENAMHI, 2016).

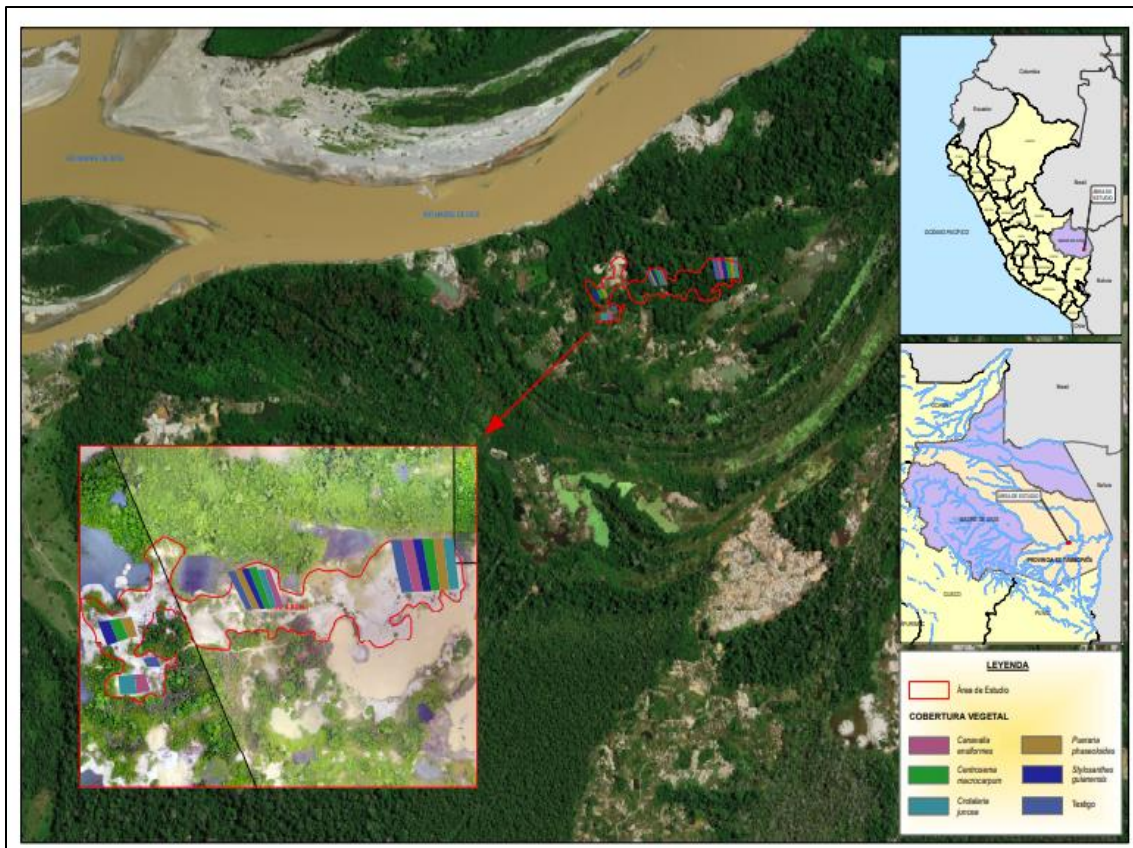


Figura 2: Localización del área de estudio

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente la comunidad nativa de San Jacinto está en la zona 19 sur, las coordenadas de su punto centroidal se presentan en proyección UTM (Universal transverse Mercator) y Datum WGS 84, ver cuadro 12

Cuadro 12: Ubiccion geográfica de la zona estudiada

Punto	Coord. UTM WGS 84 Zona 19 sur	
	Norte	Sur
Punto centroidal San Jacinto.	8 608 007.31	450 731.42

La comunidad cuenta con una extensión de 8803.83 Ha, una altitud de 244 m.s.n.m. y un perímetro de 123.76 Km. Dicha comunidad se encuentra al oeste, norte y este de la comunidad nativa Tres Islas y por el Sur se encuentra la carretera interoceánica.

3.1.3. Geología

De acuerdo con la carta geológica del Perú A-81-mapa_Puerto_Maldonado-26y se puede observar que la comunidad nativa San Jacinto cuenta con tres unidades geológicas las cuales se describen en el cuadro cuadro 13.

Cuadro 13: Formación geológica del área de estudio

Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráficas		
Cenozoica	Cuaternario	Holocena	Deposito aluvial	Terrazas 4	Formación Madre de Dios
		Pleistocena			

FUENTE: Adaptado del cuadrángulo mapa_Puerto_Maldonado-26y- INGEMMET (1996)

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materiales de campo

- Palas.
- Compost a base de castañas.
- Pabilos.

- GPS.
- Carpas.
- Picos.
- Bolsas.
- Flexómetro.
- Bidones de agua.
- Marcadores.
- Papel Kraf.
- Bolsas herméticas.
- Cooler.

3.2.2. Insumos

- Semillas de *Centrosema macrocarpum* Benth, *Crotalaria juncea* L, *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., 1867 y *Canavalia ensiformis* (L.) DC.
- compost a base de cascajos de castaña.

3.2.3. Equipos

- Balance.
- Estufa.
- Direct Mercury analyzer- Milestone DMA-80.
- Balanza analítica
- Ultrasonido
- Mufla
- Compresor
- UPS

3.2.4. Materiales de laboratorio

- Pipeta de 10 ml.
- Vaso precipitado 50 ml, 250ml.
- Recipiente de plástico.

- Probetas de 50 ml y 250ml.
- Pipeta de 10 ml.
- Embudo.
- Otros (gorro de enfermera, guantes quirúrgicos).

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Diseño estadístico

Se planteó un diseño de bloques completamente al azar tomando como tratamiento cinco especies de leguminosas entre ellas: *Centrosema macrocarpum Benth*, *Crotalaria juncea L*, *Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw*, *Pueraria phaseoloides (Roxb.) Benth.*, 1867, *Canavalia ensiformis (L.) DC*. Dicho diseño consta de tres bloques, cada bloque con cinco tratamientos dispuestos aleatoriamente, tal como se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14: Disposición de los tratamietos en los bloques

Bloque	Tratamiento					
B1	T1	T3	T2	T5	Testigo	T4
B2	T4	T1	T5	Testigo	T3	T2
B3	T3	T2	Testigo	T4	T5	T1

Donde:

Cuadro 15: Abreviatura de los tratamientos

Tratamiento		ESPECIES
Nº	CLAVE	
01	T1	<i>Canavalia ensiformis (L.) DC.</i>
02	T2	<i>Crotalaria juncea L</i>
03	T3	<i>Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw</i>
04	T4	<i>Pueraria phaseoloides (Roxb.)</i>
05	T5	<i>Centrosema macrocarpum Benth</i>

Durante el desarrollo del experimento se escogió en cada parcela experimental una subparcela de dos por dos metros cuadrados, con dos repeticiones cada una, para el análisis de porcentaje de cobertura y biomasa, una subparcela entre las tres dispuestas fue escogida para el eventual análisis de parámetros biométricos como la altura de cada una (empezando desde los 32 días después de la siembra con una evaluación periódica entre cada 15 o 20 días).

Para el análisis de las variables de altura, biomasa y porcentaje de cobertura se empleó diferentes pruebas para el cumplimiento de los supuestos como el de normalidad y/o homogeneidad de varianza, para el primero se evaluó con la prueba de Shapiro con un nivel de significancia de 0.95, el segundo se logró con ncv test, al igual que el anterior caso el nivel de significancia fue el mismo, luego se aplicó la prueba Tukey, con un nivel de significancia de 0.95. las corridas estadísticas, así como la verificación de los supuestos del modelo, fueron realizadas con la ayuda del software libre R Project for Statistical Computing.

Para cumplir los objetivos específicos de la presente investigación se deben realizar los siguientes puntos descritos a continuación:

3.3.2. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo antes y después de la siembra de los cultivos de cobertura de leguminosas: *Centrosema macrocarpum* Benth, *Crotalaria juncea* L, *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., 1867, *Canavalia ensiformis* (L.) DC.

3.1.3.1. Instalación de las coberturas

Antes de la instalación de las coberturas se debe parcelar el área de estudio para facilitar el manejo de la plantación de las leguminosas, esto permitirá un adecuado sembrado en caso de mortandad de algunos individuos.

Para el parcelamiento de cada bloque fue necesario el uso de GPS para formar y cerrar los cuadrantes de cada bloque, lo cual consistió en colocar estacas para poder proyectar líneas y de esa forma crear los cuadriláteros respectivos, una vez establecido los cuadriláteros de cada tratamiento en estudio se procedió a marcar la distancia respectiva de cada especie como se muestra en el cuadro 16:

Cuadro 16: Distanciamiento, profundidad y cantidad de semillas

Especie	Cantidad de semillas	Distanciamiento de surco (cm)	Distanciamiento de semilla (cm)	Profundidad de siembra (cm)
<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC	cuatro	50	50	2.4
<i>Crotalaria juncea</i> L	Seis	50	10	2.4
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	cuatro	50	10	2.4
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Seis	50	10	2.4
<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Seis	50	10	2.4

Después de parcelar los cuadrantes, se empezó a sembrar, la siembra se realizó la combinación de semillas con compost a base de cascara de castaña, ya que esta permitirá retener la humedad en las semillas y tenga se obtengan resultados más satisfactorios.

La plantación se realizó de la siguiente manera:

- Preparación y limpieza del terreno (desmalezado)
- Parcelar el área de estudio de cada tratamiento.
- Marcar las distancias de las semillas por plantar.
- Mezclar la semilla con el compost.

3.1.3.2.Recolección de muestras

La primera recolección del suelo degradado en la zona se hizo a mediados del mes de marzo del 2018 de manera aleatoria dentro de los tres bloques experimentales instalados previamente el muestreo se suelo se realizó de la siguiente manera;

Primero se delimitó la superficie de estudio, para la presente investigación se había limitado los bloques y los tratamientos de estos previamente. Luego definir la profundidad de muestreo entre 20 a 30 cm, luego se definió la forma de muestreo, en este caso se tiene una forma regular del área de estudio por lo cual el número de muestras y distribución fue de una muestra en cada pared (4) y una en el fondo (1), total cinco muestras. En cada uno de

los puntos del recorrido la toma de muestras se realizó con una lampa, con ella se hizo un orificio en forma de V con una profundidad de 20 a 30 cm aproximadamente, la muestra de suelo en la lampa con un cuchillo se retira el exceso de ambos lados, y lo que queda fue introducido en las bolsas herméticas. Finalmente, las submuestras recolectadas deben ser homogenizadas dentro de una bolsa, luego requieren someterlas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa. Para ello se recomienda cuartear la muestra mezclada hasta llegar a la cantidad de material necesario.

En cada bloque se extrajo aleatoriamente muestras simples antes de la instalación de las coberturas se procedió a tomar dichas muestras, seleccionando en total 15 muestras simples, de forma tal que se obtuviera mayor representatividad posible del área seleccionada, cinco muestras simples en cada bloque, lo que resultaría una muestra compuesta por cada una. Los puntos muestreados son descritos en el cuadro 17.

Cuadro 17: Punto de muestreo en la primera caracterización físico química

Código	Fecha	Coordenadas			Descripción	Registro fotográfico
		Zona	X	Y		
001	13/03/2018	19	0453502	8606339	Cercano al campamento minero, suelo con presencia de grabas y residuos sólidos domésticos. Bloque 1.	
004	13/03/2018	19	0453713	8606389	Zona con mayor distancia del campamento, rodeado entre cascajos y con presencia de vegetación dispersada, fue el Bloque II	

Continuación

007	13/03/2018	19	0453908	8606416	Es la zona más alejada del campamento minero, el suelo es más uniforme que en los anteriores, ya que no cuenta con presencia de grabas y es arenoso, además con presencia de vegetación, fue el Bloque III	
-----	------------	----	---------	---------	--	---

Para el muestreo final, se tomaron las muestras después de más de siete meses se procedió a volver a evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo, a diferencia de la primera evaluación, esta se evaluó por cada tratamiento. obteniéndose en total 18 muestras compuestas (cinco muestras simples por cada tratamiento y cinco muestras simple por cada testigo), se tomaron al igual que al inicio muestras simples manera aleatoria para tener mayor representatividad. Los puntos muestreados se describen en el cuadro 18 :

Cuadro 18: Puntos de muestreo de la cacterización físico química final

Bloque	Código	Tratamiento	Coordenada		Fecha
			X	Y	
I	B1CAFQ	T1	0453502	8606339	13/10/18
	B1CEFQ	T5			
	B1CRFQ	T2			
	B1PUFQ	T4			
	B1ST4FQ	T3			
	B1TFQ	Testigo			
II	B2CAFQ	T1	0453713	8606389	13/10/18
	B2CEFQ	T5			
	B2CRFQ	T2			
	B2PUFQ	T4			
	B2ST4FQ	T3			
	B2TFQ	Testigo			
III	B3CAFQ	T1	0453908	8606416	13/10/18
	B3CEFQ	T5			
	B3CRFQ	T2			
	B3PUFQ	T4			
	B3ST4FQ	T3			
	B3TFQ	Testigo			

3.1.3.3.Preparación de las muestras

Las muestras recolectadas de suelo fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de suelos para su caracterización fisicoquímica y en cuanto a la cuantificación de mercurio se mandó al LAMCA (Laboratorio Ambiental de Mercurio). Las metodologías de los parámetros de caracterización de suelos se explican en el cuadro 19:

Cuadro 19: Metodologías aplicadas a las variable de estudio

VARIABLE EN ESTUDIO	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN	REFERENCIA
pH	EL método potenciómetro mide el pH a través de los electrodos unidos a potenciómetros eléctricos. Preparar una suspensión suelo (masa/volumen) Ajustar el Potenciómetro según el manual del fabricante. Agitar la suspensión. Medir el pH en la suspensión en reposo. Leer el pH luego que se alcance la estabilización.	Bazan, 2017
Conductividad eléctrica	Sales solubles en el suelo son estimadas a partir de la conductividad eléctrica (CE) en un extracto acuoso (extracto de saturación) mediante un procedimiento conductométrico. El resultado se reporta en dS m^{-1} a 25°C .	Bazan, 2017
Carbonatos	En un Erlenmeyer colar un peso de suelo, se usa una solución de HCl diluido 1:1, si en la muestra hay carbonato, la columna de agua saturada se desplaza, leer los ml de volumen desplazados.	
Materia Orgánica	La materia orgánica del suelo es oxidada por una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico.	Walkley y Black (1934).

Continuación

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	En solución de acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N con pH 7 y una posterior cuantificación de manera individual por absorción atómica y fotometría de llama. Finalmente se sumarán los cationes de intercambio catiónico total.	Bazan, 2017
Cationes Cambiables (Ca^+ , Mg^{+2} , Na^+ , K^+)	Se realiza una extracción con una solución de acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N con pH 7 y una posterior cuantificación de manera individual por absorción atómica.	Bazan, 2017
Mercurio (ppm)	Descomposición térmica, espectrofotometría absorción atómica (DMA-80)	EPA 7473
Fósforo y Potasio disponible	La determinación del fósforo involucra digestión de la muestra de suelo empleando un ácido fuerte para producir disolución de las formas insolubles inorgánicas y orgánicas de fósforo.	Olsen y Sommers (1982)
Textura de Suelo	Se realiza mediante el método del hidrómetro de Bouyoucus y asignado la clase textual en función del triángulo textual de USDA (United State Departament of Agriculture).	USDA, 1997

3.3.2. Evaluar la producción de biomasa de las coberturas a usar como: *Centrosema macrocarpum* Benth, *Crotalaria juncea* L, *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., 1867, *Canavalia ensiformis* (L.) DC, en la comunidad nativa San Jacinto en Puerto Maldonado.

La evaluación de la biomasa tanto aérea (hojas y tallos) como radicular se efectuó a los ocho meses de instalado del experimento. Para la evaluación de la biomasa, se escogieron un subparcela de dos por dos metros por cada tratamiento (15 subparcelas en total), debido a que se quiere evaluar cuanto de biomasa seca y húmeda acumularon en el transcurso del tiempo desde que se plantaron, el registro del peso de la biomasa fresca se realizó en campo, ya que debido a las altas temperaturas registradas en la zona, la descomposición de los componentes orgánicos es rápida y con ella la evaporación del agua contenida en sus

tejidos, por dicha razón para tener un muestreo con bajo error experimental se procedió a pesarlo en la misma zona de estudio por la tarde noche donde la temperatura desciende y la radicación solar es nula. Proceder de esa forma ayuda que el contenido de agua en las leguminosas se conserve y generen datos con errores mínimos.

Después de pesar las muestras en campo se procedió a empaquetarlas en papel kraf y se llevó al laboratorio para ponerlas a estufa a una temperatura de 72°C por 72 horas, tanto la zona aérea y radicular de las leguminosas

3.3.3. Determinar el porcentaje de cobertura de las leguminosas en cada submuestra de cada tratamiento.

La evaluación del porcentaje de cobertura fue mediante tomas fotográficas digitales (tres subparcelas por cada tratamiento) las cuales fueron evaluadas mediante el software para el cálculo de cobertura vegetal llamado CobCal v 2.1. la primera evaluación se realizó a los 32 días después de la siembra, las evaluaciones posteriores se realizaron cada 15 a 20 días hasta alcanzar un máximo de cobertura de cada especie en estudio.

3.3.4. Determinar la concentración de mercurio en la parte foliar y radicular de las leguminosas (*Centrosema macrocarpum* Benth, *Crotalaria juncea* L, *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., 1867, *Canavalia ensiformis* (L.) DC

Dentro de esta metodología hay dos fases:

Primera fase:

Esta fase es la recolección de la muestra en el área de estudio, se escogieron cinco muestras al azar en cada tratamiento de todos los bloques, las muestras fueron sacadas de raíz con cuidado, luego almacenadas en papel kraf, finalmente fueron enviadas al laboratorio para su análisis

Segunda fase

Las muestras serán separadas en tres partes para su análisis (hojas, raíz y tallos) y serán separadas por tratamiento y bloque. Las muestras colectadas se separa por tipo de organo, luego congeladas, después para que las muestras se sequen y no pierdan el mercurio que esta en sus órganos fueron liofilizadas, posteriormente homogenizadas, decir cortadas a tamaños que las muestras sean lo mas homogéneamente posible y pesadas. Finalmente son leídas en el DMA (Direct Mercury Analyzer).

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo antes y después de la siembra de los cultivos de cobertura de leguminosas: *Centrosema macrocarpum* Benth, *Crotalaria juncea* L, *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., 1867, *Canavalia ensiformes*.

A los dos días de la instalación de los tratamientos se hizo una caracterización inicial de los indicadores tanto físico como químico, lo cual se detallan en el cuadro 20:

Cuadro 20: Caracterización inicial del suelo

BLOQUE	CÓDIGO	pH	CE (1:1) dS/m	CaCO ₃	M.O (%)	P (ppm)	K (ppm)	TEXTURA (%)			CIC meq/100g	% SATURACIÓN DE BASES
								Arena	Arcilla	Limo		
I	0.01	5.540	0.020	0.00	0.06	4.4	23	89	7	4	4.00	43
II	0.04	5.590	0.020	0.00	0.03	4.7	24	87	7	6	4.00	78
III	0.07	5.200	0.030	0.00	0.03	3.2	23	89	8	6	3.20	55
Promedio	X	5.44	0.02	0.00	0.04	4.1	23.3	88.3	6.7	5.3	3.73	58.7

4.1.1. Indicadores físicos

4.1.1.1. Textura del suelo

En la primera caracterización de suelos, antes de la instalación de las leguminosas, se observa en el cuadro 21 un porcentaje promedio de arena de 88.3% y de 6.7 % de arcilla. Después de 200 días después de instalada las coberturas se tomó muestras de suelo para evaluar la textura del suelo, los resultados promedios fueron de 92,94% para arena y 3.86% para la arcilla, dichos resultados están expuestos en el cuadro 21, los resultados del cuadro 21 no evidencia una diferencia significativa entre los tratamientos, quiere decir que todos los tratamientos tienen las mismas características de suelo arenoso.

Estos suelos al ser arenosos retienen poca humedad, lo cual tienden a secarse con mayor rapidez, lo cual no podría ser adecuado para el crecimiento de las leguminosas, al ser arenosos poseen baja fertilidad indicadas en el cuadro 6, debido a que los nutrientes son lavados con mayor rapidez.

Cuadro 21: Contenido promedio de arena (%) y arcilla(%) de la caracterización final del suelo

Tratamiento	Especies		(% arena)	(% arcilla)
T1	<i>Canavalia ensiformis (L.) DC</i>	Ca	92.7a	4.0a
T2	<i>Crotalaria juncea L</i>	Cr	92.7a	4.0a
T3	<i>Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw</i>	Sty	93.3a	4.0a
T4	<i>Pueraria phaseoloides (Roxb.)</i>	Pu	92.7a	4.0a
T5	<i>Centrosema macrocarpum Benth</i>	Ce	93.3a	3.3a
Promedio			92.94	3.86

4.1.2. Indicadores químicos

4.1.2.1. Materia Orgánica

Observando los cuadros 20 y 21 los valores promedios porcentuales de la materia orgánica son 0.04% y 0.084% respectivamente, (Sánchez, 1981) indica que una de las razones por las cuales el contenido de materia orgánica es bajo en los suelos tropicales, es debido a las altas temperaturas y por ello tienen una alta tasa de descomposición, a esto si le sumamos que los suelos degradados, es decir suelos que tienen una reducción en su capacidad de productividad del suelo, por lo tanto conlleva a que sean suelos con contenido muy poco de materia orgánica

El porcentaje del contenido de la materia orgánica no aumenta significativamente luego del desarrollo de las leguminosas, ya que los valores que presentan después de siete meses establecidas no proporcionan un aporte alto de materia orgánica al suelo, los tratamientos expuestos en el cuadro 22 muestran que no hay diferencias significativas, es decir que todas las leguminosas tienen el mismo aporte de materia orgánica estadísticamente. Respecto al índice del contenido orgánico en los suelos, de acuerdo al cuadro 8 se observa que la clasificación de la materia orgánica para un suelo arenoso cuando es menor a 0.7 se le clasifica muy bajo. Por lo tanto el aporte porcentual de materia orgánica después de los 200 días de la instalación de las leguminosas es muy bajo.

Cuadro 22: Contenido promedio de materia orgánica (%) del suelo después de a instalación de las leguminosas

Tratamiento	Especies		(% M.O)	Efecto de los tratamientos
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC	Ca	0.07	a
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	0.10	a
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	0.06	a
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	0.09	a
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	0.10	a
Promedio			0.084	

4.1.2.2. pH

El pH evaluado en los tres bloques al inicio de la fase experimental muestra un valor promedio 5.44, estos valores responden con base a Buckman y Brady (1966), afirman que las regiones tropicales donde la precipitación es alta, por lo general los suelos suelen ser ácidos, ya que ocasiona lixiviación de las bases intercambiables, por ello la solución suelo contiene más iones de hidrógeno (H^+) que oxidrilos (OH^-). Los resultados fueron similares después de 200 días después de la instalación de la cobertura, los resultados de dicho análisis se muestran en el cuadro 23, el pH sigue siendo ácido en todos los tratamientos y entre ellos no hay diferencias significativas, muestran el mismo efecto estadístico, es decir que tienen los mismos valores de pH todos los tratamientos, con un valor promedio de 5.31. El porcentaje de carbonatos está altamente influenciado por la acidez del suelo y al tener un pH bajo no hay carbonatos presentes en el suelo.

Cuadro 23: Contenido promedio de pH de las muestras de la caracterización de suelo después de la instalación de las leguminosas

Tratamiento	Especies		pH	Efecto de los tratamientos
T1	<i>Canavalia ensiformis (L.) DC</i>	Ca	5.44	a
T2	<i>Crotalaria juncea L</i>	Cr	5.35	a
T3	<i>Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw</i>	Sty	5.17	a
T4	<i>Pueraria phaseoloides (Roxb.)</i>	Pu	5.23	a
T5	<i>Centrosema macrocarpum Benth</i>	Ce	5.35	a
Promedio			5.31	

4.1.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)

Los resultados de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) resultaron con valores bajos tanto al inicio (con un valor de promedio de 3.73 meq/100g) como al final (con un valor promedio de 4.42 meq/100g) de la evaluación, estos resultados se muestran en los cuadros 20 y 24, en la última evaluación todos los resultados expresan el mismo efecto, es decir los valores son iguales estadísticamente para todos los tratamientos. Los valores bajos de la C.I.C son influenciados por otros parámetros como la materia orgánica en el suelo y la textura del suelo, así lo declara Otero *et al.* (1998), el cual afirman que los resultados de la C.I.C son altos, ya que hay predominio de la arcilla en el intercambio catiónico, y declara que la materia orgánica tiene una participación destacada en dicho proceso. Podemos afirmar que los valores de la capacidad de intercambio catiónico son bajos, debido a que el porcentaje de materia orgánica es bajo y también al ser suelos arenosos el contenido porcentual de arcilla es muy bajo.

Cuadro 24: Resultados promedios de la C.I.C del suelo después de la instalación de las leguminosas

Tratamiento	Especies		C.I.C (meq/100g)	% saturación Al ⁺
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC	Ca	4.32a	4.01ab
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	4.53a	3.05ab
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	4.53a	4.74a
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.27a	2.27b
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	4.43a	3.84ab
Promedio			4.42	3.58

Respecto a los resultados del porcentaje de saturación de aluminio los valores que se muestran en todos los tratamientos también son estadísticamente iguales, por lo cual existe el mismo en todos los tratamientos, el pH de estos suelos es ácido, sin embargo, el porcentaje de Al⁺³ es bajo. Porta *et al.* (2003) afirma que según el pH, el aluminio (Al⁺³) puede estar en diferentes formas químicas, a un pH menor de 4.7 predomina el Al⁺³ (tóxico para las plantas); entre 4,7 y 6.5 predomina el Al(OH)⁺² y entre 6.5 y 8 el aluminio insoluble, debido a que el pH de los

suelos analizados en esta investigación no bajan de 5, el porcentaje de saturación es baja y con ello hay poca probabilidad de toxicidad de aluminio para las leguminosas.

4.1.2.4. P y K extraíbles

Fósforo

No hay diferencia significativa entre los tratamientos para aporte en el contenido promedio de fósforo expuestas en el cuadro 25, es decir que los resultados muestran valores iguales estadísticamente en el aporte de dicho elemento.

La disponibilidad del fósforo cumple funciones importantes en el desarrollo de las coberturas, dichas funciones están explicadas en el capítulo anterior, al igual que en los parámetros no existe diferencia significativa en los tratamientos, y de acuerdo al cuadro 9 expuesto en el capítulo anterior donde clasifica el contenido de fósforo respecto al tipo de suelo, y de acuerdo a dicha clasificación podemos afirmar que el contenido de dicho elemento es bajo, ya que el aporte de fósforo promedio al inicio (4.1 ppm) de la investigación como al final (3.91ppm) es prácticamente igual, no hay un aporte significativo por parte de los cultivos usados y esto se debe a que la disponibilidad del fósforo disminuye a pH menores de 6.5, lo cual provocan su precipitación.

Cuadro 25: Contenido promedio de Fósforo en el suelo después de la instalación de las leguminosas

Tratamiento	Especies		P (ppm)	Efecto de los tratamientos
T1	<i>Canavalia ensiformis (L.) DC</i>	Ca	3.43	b
T2	<i>Crotalaria juncea L</i>	Cr	3.67	b
T3	<i>Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw</i>	Sty	3.73	ab
T4	<i>Pueraria phaseoloides (Roxb.)</i>	Pu	4.27	a
T5	<i>Centrosema macrocarpum Benth</i>	Ce	4.43	a
Promedio			3.91	

Potasio

Cuadro 26: Contenido promedio de potasio en el suelo después de los 200 días instalación de las leguminosas

Tratamiento	Especies		K (ppm)	Efecto de los tratamientos
T1	<i>Canavalia ensiformis (L.) DC</i>	Ca	39.00	a
T2	<i>Crotalaria juncea L</i>	Cr	40.67	a
T3	<i>Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw</i>	Sty	39.00	a
T4	<i>Pueraria phaseoloides (Roxb.)</i>	Pu	39.33	a
T5	<i>Centrosema macrocarpum Benth</i>	Ce	42.67	a
Promedio			40.34	

El potasio al igual que el fósforo su contenido es bajo en base al cuadro 10 el cual establece los valores de potasio según la textura del suelo, ningún valor de los análisis sale por encima de los 95 ppm, el efecto del contenido de dicho nutriente en todos los tratamientos es estadísticamente igual, al igual que en el caso anterior la disponibilidad del potasio está en función al pH del suelo.

4.1.2.4. Conductividad eléctrica (CE)

Cuadro 27: Conductividad eléctrica promedio del suelo después de los 200 días instalados las leguminosas

Tratamiento	Especies		Efecto entre tratamiento
T1	<i>Canavalia ensiformis (L.) DC.</i>	Ca	a
T2	<i>Crotalaria juncea L</i>	Cr	a
T3	<i>Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw</i>	Sty	a
T4	<i>Pueraria phaseoloides (Roxb.)</i>	Pu	a
T5	<i>Centrosema macrocarpum Benth</i>	Ce	a

Para la obtención de los resultados se hizo mediante una prueba no paramétrica, la prueba de Friedman ($p > 0.05$), para lo cual se observa que todos los tratamientos tienen el mismo efecto, dichos valores en todos los tratamientos es menor a 0.35 y según lo expuesto en el cuadro 11 la clasificación de dichos suelos es no salino.

4.2. Determinar el porcentaje de cobertura, altura y biomasa fresca y seca de las leguminosas en cada submuestra de cada bloque experimental y evaluación del crecimiento.

4.2.1. determinación del porcentaje de cobertura de las leguminosas en las áreas degradadas

Cuadro 28: : Evaluación total del porcentaje de cobertura de los tratamietntos

Tratamiento	Especies		Fecha								
			26/04/2018	14/05/2018	26/05/2018	7/06/2018	20/06/2018	9/07/2018	30/08/2018	10/09/2018	18/10/2018
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	11.33	14.52a	16.96a	24.62a	23.05a	24.29a	32.39b	36.79b	41.45b
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	3.45	4.51b	5.64b	6.54b	9.84b	6.29b	6.68d	7.23c	8.07b
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	2.97	3.39b	3.78b	4.05b	7.51b	9.85b	51.05a	52.98a	62.94a
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	3.37	3.89b	4.60b	6.54b	9.61b	10.36b	23.13c	29.39b	46.38a
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	1.35	2.43b	2.71b	3.91b	4.45b	3.49b	7.36d	4.62c	7.67b

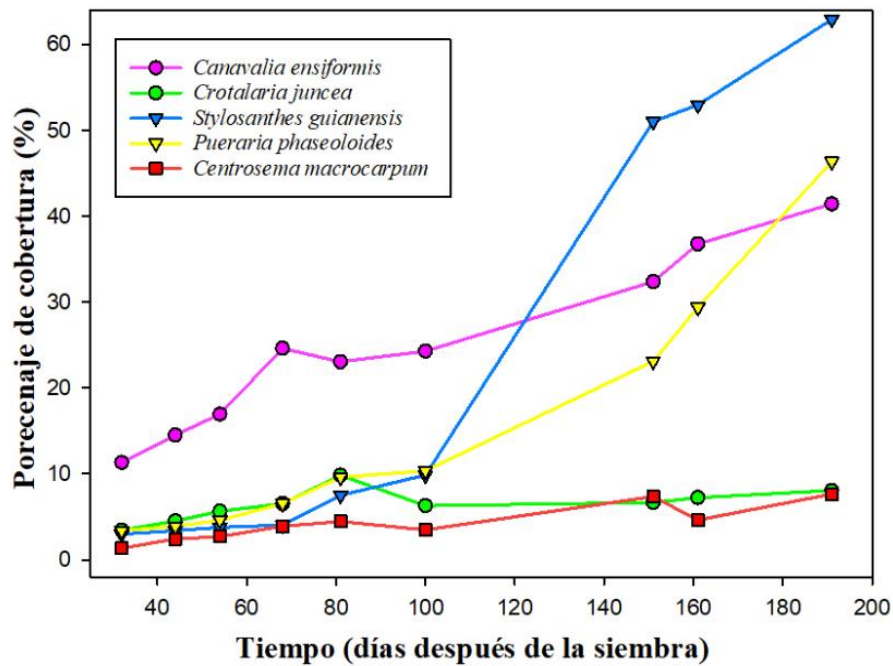


Figura 3: Evaluación de las medias del porcentaje de cobertura de los tratamientos

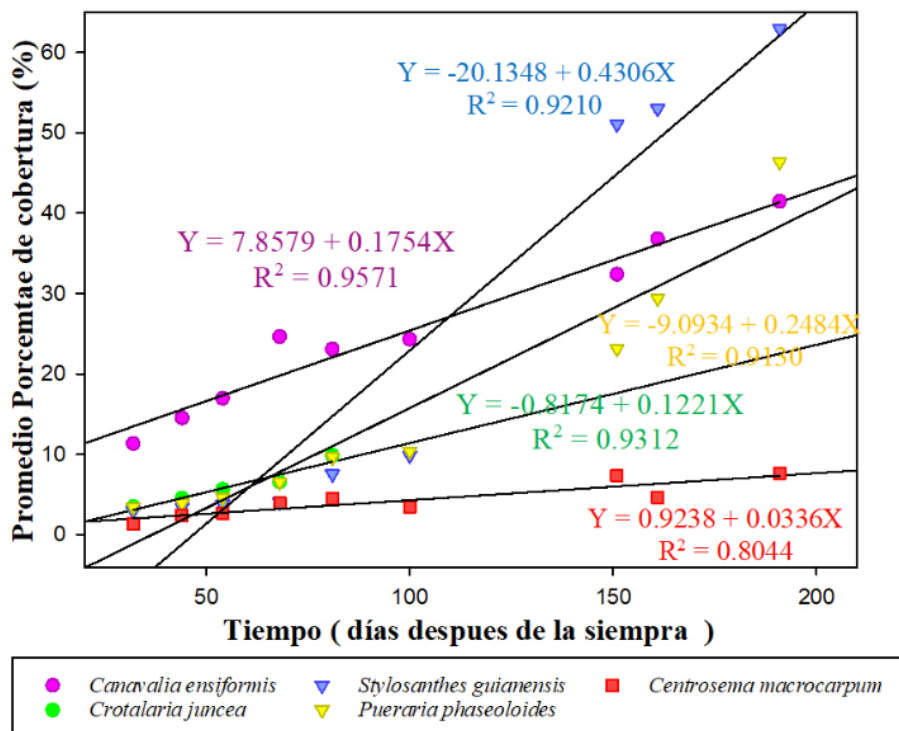


Figura 4: Correlación Porcentaje de cobertura evaluadas periódicamente durante seis meses

Cuadro 29: Correlación entre el porcentaje de cobertura y el tiempo evaluado

Tratamiento	Ecuación de regresión	Coefficiente de determinación	Coefficiente de Pearson	Intervalo de confianza
<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	$Y = 7.8579 + 0.1754x$	$R^2 = 0.9571$	0.978	95%
<i>Crotalaria juncea</i> L	$Y = -0.8174 + 0.1221x$	$R^2 = 0.9312$	0.965	95%
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	$Y = -20.1348 + 0.4306x$	$R^2 = 0.9210$	0.960	95%
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	$Y = -9.0934 + 0.2484x$	$R^2 = 0.9130$	0.956	95%
<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	$Y = -0.9238 + 0.00336x$	$R^2 = 0.8044$	0.897	95%

Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura de suelos periódicamente en cada evaluación que se realizó, siendo la *Canavalia ensiformis* la que tuvo un efecto superior al resto en las primeras seis evaluaciones ($p < 0.01$), después de la sexta evaluación el *Stylosanthes guianensis* supera significativa a las demás y para la última evaluación está tiene el mismo efecto que la *Pueraria phaseoloides*, ambos tienen valores estadísticamente iguales. La tendencia obtenida en los cinco tratamientos fue lineal positiva en todos los tratamientos según se puede observar en la figura 4.

Cabe recalcar que el resultado fue mejor de lo esperado, ya que al presentarse unas condiciones climáticas que no favorecen el desarrollo de las leguminosas, al disminuir drásticamente las precipitaciones durante el primer mes después de sembradas de las especies, la *S. guianensis* aumentó sus niveles de cobertura de manera significativa, la tendencia se puede observar en la figura 3, donde se observa que todos los tratamientos tienen la misma tendencia unos en menor grado como la *Crotalaria juncea* y *Centrosema macrocarpum*. El cuadro 29 muestra las correlaciones que hay entre cada una de las especies, todas tiene una correlación alta positiva, siendo la que tiene una relación lineal fuerte la *Canavalia ensiformis*, teniendo este el mayor coeficiente de Pearson (0.978).

Comparando el porcentaje de cobertura con la biomasa producida podemos observar que los resultados en los efectos de los tratamientos son parecidos, al observar la figura 8, notamos que la mayor producción de biomasa aérea fresca fue para *Stylosanthes guianensis*, seguido de la *Pueraria phaseoloides*, al igual que el porcentaje de cobertura, sin embargo, tiene una relación inversa con la altura. El *Centrosema macrocarpum* a pesar de tener una correlación fuerte ($R^2=0.8044$), no llega ni al 10 por ciento de cobertura, el mismo efecto lo tiene la *Crotalaria.juncea*.

4.2.2. Resultados entre la altura y el tiempo de evaluación

Cuadro 30: Evaluación Promedio total de la altura de las leguminosas

Tratamiento	Especies		14/05/2018	24/05/2018	7/06/2018	20/06/2018	9/07/2018	1/08/2018	30/08/2018	10/09/2018	18/10/2018
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	31.19	33.67b	37.50b	42.57b	47.90b	46.17b	54.09b	60.13b	73.64a
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	34.34	46.83a	64.10a	76.10a	83.27a	75.00a	74.20a	73.39a	63.48a
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.)	Sty	8.27	9.33c	11.13c	16.57c	22.47c	25.50c	38.51c	41.29c	48.43ab
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.57	4.10c	3.33c	4.37d	4.23d	4.17d	7.28d	6.91d	11.83c
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	10.22	9.73c	9.07c	10.17cd	9.77cd	9.67d	13.18d	14.76d	19.05bc

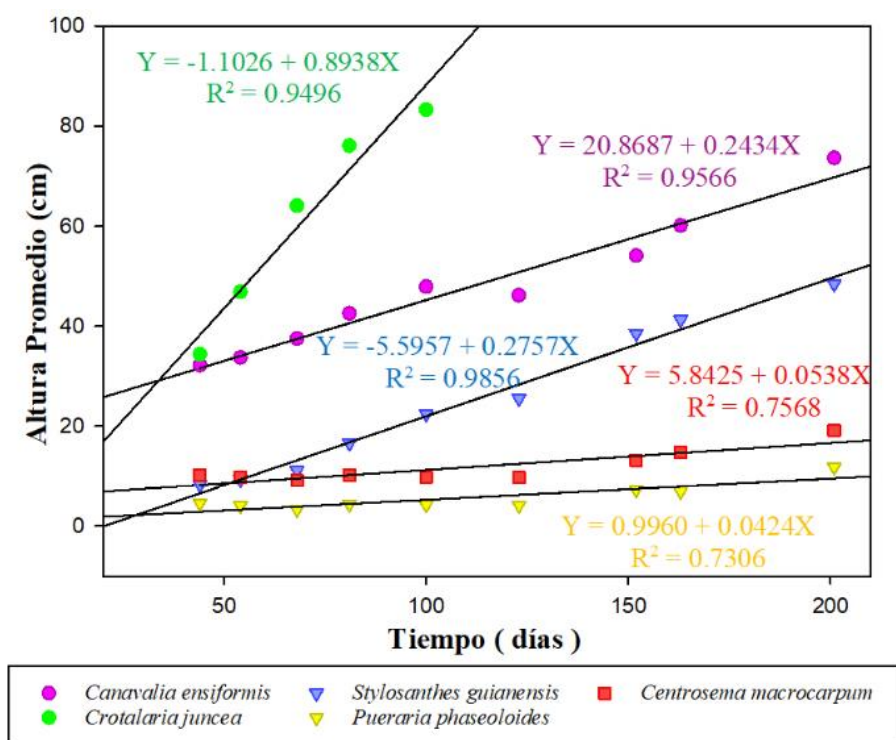


Figura 5: Correlación entre la altura en el tiempo

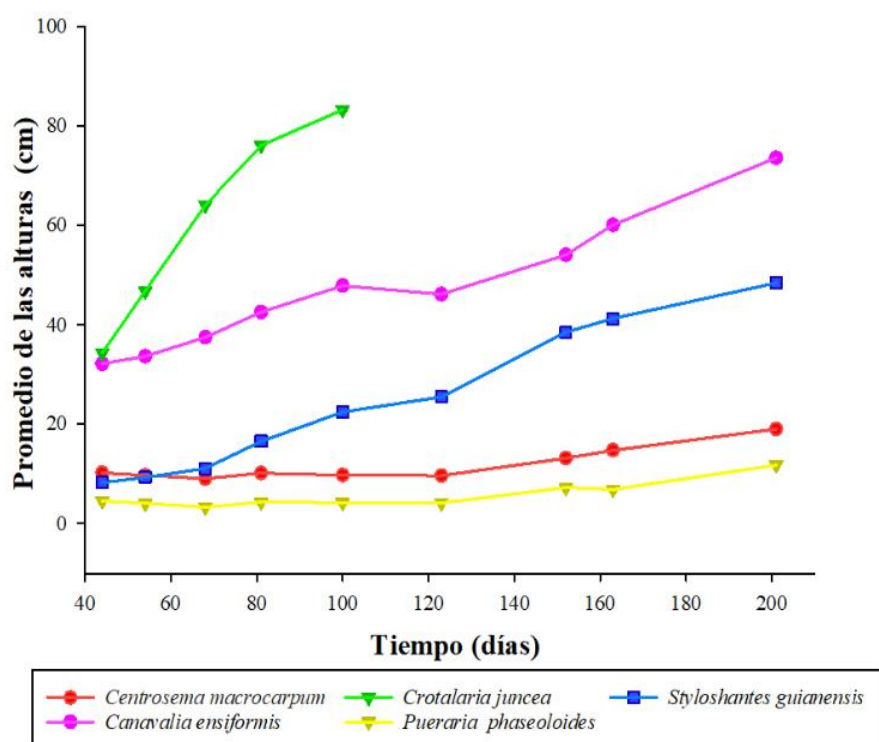


Figura 6: Grafica del comportamiento de la altura en el tiempo

Cuadro 31: Correlación entre la altura promedio y los días evaluados

Tratamiento	Ecuación de regresión	Coefficiente de determinación	Coefficiente de Pearson	Intervalo de confianza
<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	$Y = -1.1026 + 0.8938x$	$R^2 = 0.9496$	0.975	95%
<i>Crotalaria juncea</i> L	$Y = 20.8687 + 0.2434x$	$R^2 = 0.9566$	0.978	95%
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	$Y = -5.5957 + 0.2757x$	$R^2 = 0.9856$	0.993	95%
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	$Y = 5.8425 + 0.0538x$	$R^2 = 0.7568$	0.870	95%
<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	$Y = 0.9960 + 0.0424x$	$R^2 = 0.7306$	0.855	95%

Como se aprecia en la figura 6, la mayor altura dentro de los primeros días a la evaluación a fines del periodo lluvioso se encontró en la *Crotalaria juncea*, alcanzando una altura promedio de 83.3 cm, la cual difirió significativamente ($p < 0.001$) del resto de las especies. A partir de la sexta evaluación de la altura (cuatro meses después de la siembra) se observa que los individuos de dicha especie tienen una tasa de mortalidad comparado con el resto de las especies, debido a las condiciones climáticas, ya que la siembra se realizó a mediados de marzo (inicio de la estación seca en Puerto Maldonado), sin embargo las especies sembradas lograron tener una relación lineal positiva del crecimiento a través del tiempo, eso se logró debido que a pesar de haberse sembrado a inicios de la estación seca hubo eventos climáticos como los friajes (aumento de lluvias) lo que originó que las leguminosas obtengan una fuente de agua.

Si bien la *Crotalaria juncea* fue la que mejor resultados dio en las primeras evaluaciones, esta tuvo un descenso a partir de los 100 días después de instalada las especies, su crecimiento no fue uniforme dentro del área de estudio, los individuos iban muriendo con paso de los días, debido a muchos factores como: poca fertilidad de los suelos, la baja humedad, la acidez propia de los suelos tropicales entre otras. Por otro lado la *Canavalia* tuvo un crecimiento más parejo dentro del área experimental, teniendo resultados significativamente ($p < 0.05$) con

respecto de la *Centrosema macrocarpum*, *Stylosanthes guianensis* y *Pueraria phaseoloides*, al finalizar la etapa experimental la *Canavalia ensiformis* tuvo un resultado mayor que la *Crotalaria juncea*, además dicha leguminosa también tiene una relación lineal fuerte ($R^2 = 0.9566$)

Stylosanthes guianensis tuvo una menor respuesta al inicio de las evaluaciones, sin embargo es la que mejor relación lineal ($R^2 = 0.9856$) tiene a través del tiempo y pudo alcanzar una altura promedio de 41.290 cm al finalizar la etapa experimental, dicha leguminosa presenta una alta sobrevivencia de sus especies durante toda la fase experimental a pesar de las condiciones desfavorables (poca humedad, radiación alta), también estuvo en buenas condiciones visuales durante toda la etapa experimental. A parte de presentar una buena respuesta en el crecimiento esta leguminosa también obtuvo una buena respuesta como cobertura y con ello una alta biomasa fresca.

Pueraria phaseoloides es la especie que registro la menor altura (3.5 cm) debido a ser rastrero, teniendo el mismo efecto estadístico con el *Centrosema macrocarpum* en la mayoría de las evaluaciones, es decir ambas no presentan diferencias estadísticas en el tamaño, y ambas tienen un efecto directo lineal, siendo sus coeficientes de determinación 0.7568 para la *Pueraria phaseoloides* y 0.7306 para el *Centrosema macrocarpum* (cuadro 31).

4.2.3. Evaluación de la biomasa fresca y seca de la parte aérea y radicular de las leguminosas

Cuadro 32: Biomasa de peso fresco y seco de la parte aérea (tallos y hojas)

Tratamiento	Especies		biomasa fresca (t/ha)	biomasa seca (t/ha)
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	4.45	1.23
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	1.07	0.41
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	12.26	3.97
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	2.16	0.61
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	0.27	0.12

Cuadro 33: Biomasa de peso fresco y seco de la raíz

Tratamiento	Especies		biomasa fresca (t/ha)	biomasa seca (T/ha)
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	0.37	0.23
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	0.31	0.13
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	0.88	0.37
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	0.53	0.24
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	0.10	0.07

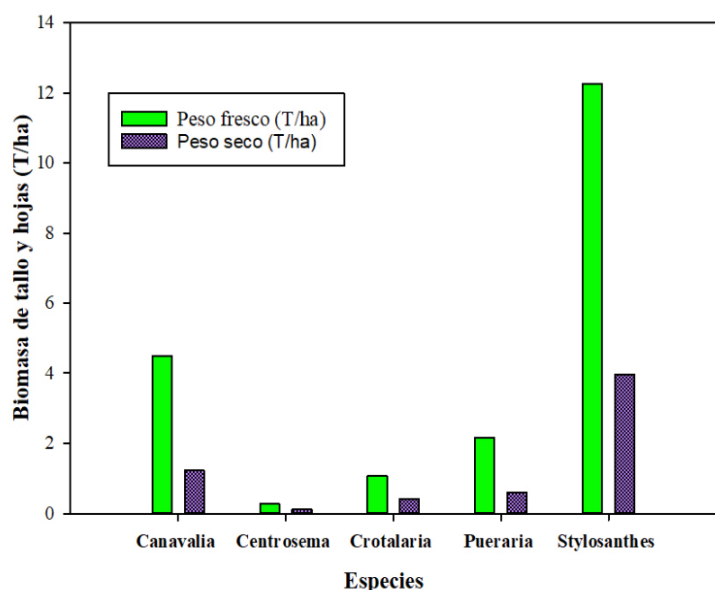


Figura 7: Biomasa fresca y seca de la zona aérea (tallos y hojas)

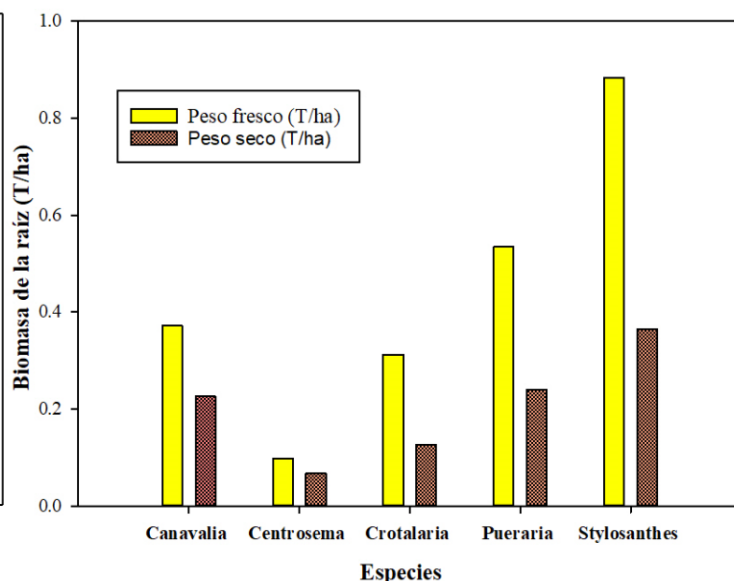


Figura 8: Biomasa fresca y seca de la zona aérea radicular

La biomasa fresca aérea tiene diferencia significativa entre sus tratamientos ($p < 0.05$), por el contrario de la zona radicular, la cual no evidencia diferencia significativas entre las tratamientos, es decir tienen el mismo los mismos resultados estadísticamente. El *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw tiene una mayor respuesta en biomasa fresca comparada con las demás, los resultados están expuestos en los cuadros 32 y 33, la *Stylosanthes guianensis* tuvo una mayor respuesta de biomasa fresca en la zona área (12.261 t/ha), a pesar que su crecimiento fue lento, fue la que también mejor se adaptó en el tiempo, teniendo la mejor relación lineal a través del tiempo con el crecimiento, esta leguminosa logró alcanzar también el mayor porcentaje de cobertura en la etapa final de la investigación logrando cubrir la mayor parte del área en todos los bloques experimentales. dicha leguminosa es la que mayor aporte de biomasa seca aporta tanto en la zona foliar como radicular con valores de 3.966 t/ha y 0.365 t/ha respectivamente.

En las tablas 32 y 33 se registran el aporte de biomasa en tonelada por hectárea (t/ha) de las cinco leguminosas, para cada una de las densidades de siembra. Se muestran diferencia significativas para la interacción densidad-especie, es decir, que la densidad de siembra no influye sobre la producción de biomasa seca de las leguminosas; para Jimenez *et al*, 2005 estos resultados son el resultado de la suma de otros factores, como las propiedades físico químicas del suelo, la genética de las plantas y el manejo de cultivo entre otros, los que determinan la producción.

Jimenez *et al*, 2005 registro en promedio de biomasa seca de la parte aérea (tallos y hojas) en 3.74 t/ha a los 135 días de la siembra para la *crotalaria juncea* y afirma que otros autores registraron una producción de materia seca /ha/año entre 7 y 13 t/ha en un periodo de 150 días. Garcia *et al*. (2000) evaluó la cantidad de biomasa fresca para la canavalia, cuyos resultados fueron en total 4.17 t/ha de biomasa fresca y 1.139 t/ha de biomasa seca, dichos valores parecidos a los que se evidencia en este estudio, los resultados totales medios de la canavalia para la biomasa fresca y seca son 8.871 t/ha y 1.456 t/ha respectivamente..

Stylosanthes guianensis es la que registró mejores resultados en biomasa seca tanto radicular como la foliar; esto puede ser a que los requerimientos de fósforo (P) disponible en el suelo, que necesita cada especie para su desarrollo, para la *Stylosanthes guianensis* sus requerimientos de dicho nutriente varían entre 2.5 y 5.5 ppm, esos requerimientos son menores comparados con las otras especies; como el kudzu (*Pueraria phaseoloides*) que necesita más de 4ppm según afirman (Ciotti *et al*, 2003). Debido a que en el presente estudio la concentración media de fósforo en el suelo fue 2.5 ppm, el *stylosanthes* pudo suplir los requerimientos mínimo de fósforo y con ello pudo tener un desarrollo más óptimo de aquellas especies con mayores requerimientos del nutriente.

Valles *et al*. (1992) expuso sus resultados en la producción de materia seca en época de mínimas precipitación y máxima de precipitación, afirmando que las leguminosas fueron más productivas en la época de lluvias que en épocas secas y la que mejor dio resultados fue la *Centrosema macrocarpum*, a diferencia del presente estudio donde se observa en los cuadros 49 y 50, donde la producción media de biomasa seca tanto radicular como aérea son las de menor valor. Los resultados mencionados, a los 200 días después de la siembra, el tratamiento T3 (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw) en materia seca de la zona aérea 3.966 t/ha y 0.365 t/ha de la zona radicular; tienen un rendimiento superior al tratamiento T5 (*Centrosema macrocarpum* Benth) que aporta al suelo 0.117 t/ha en masa aérea y 0.067 t/ha en la zona radicular.

4.3. CANTIDAD DE NITRÓGENO EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS DE LAS LEGUMINOSAS

4.3.1. Evaluación de nitrógeno en la zona radicular y foliar de las leguminosass

En el cuadro 35 se muestra los resultados estadísticos del análisis de nitrógeno total para la zona de la raíz, tallo y hojas de las leguminosas usadas en la presente investigación, dicho cuadro muestra la significancia al 95 por ciento de las zonas a evaluar.

En la zona radicular no hay diferencias significativa entre los tratamientos a un nivel del 95 por ciento, es decir que el contenido total de nitrógeno en los cinco tratamientos son estadísticamente iguales. El contenido promedio de nitrógeno total en la zona radicular fue de 2.13% N, siendo la *Pueraria* la que registró el mayor valor de 2.59 % N_T en la raíz, por el contrario la *Stylosanthes guianensis* con 1.74% N, registró el valor más bajo entre las cinco leguminosas: *Centrosema macrocarpum* (2.32% N_t), *Canavalia ensiformis* (2.12%N_t) y *Crotalaria juncea* (1.88% N_t)

En las hojas no hay diferencias significativas entre los tratamientos, todos los resultados de los tratamientos tienen el mismo contenido de nitrógeno estadísticamente en las hojas, las hojas tienen la mayor cantidad promedio de nitrógeno total (2.54% N_T) comparado con las raíces (2.13% N_T) y tallos (1.60% N_t), siendo la *Canavalia ensiformis* la que tiene mayor contenido de nitrógeno total en las hojas con un valor de 3.07% N_T, en cambio la *Pueraria* con 2.06% N_T tuvo el menor contenido de nitrógeno: *Crotalaria juncea* (2.65%N_T), *Centrosema macrocarpum* (2.52%N_T) y *Stylosanthes guianensis* (2.42%N_T).

En los tallos si hay diferencias significativas entre los tratamientos, la *Pueraria phaseoloides* tiene un contenido de nitrógeno total de 2.25 % N_T en la materia seca de los tallos, y es superior ($p < 0.05$) a la *Canavalia ensiformis* (1.48%N_T), *Crotalaria juncea* (1.42%N_T) y *Stylosanthes guianensis* (1.59%N_T) y *Centrosema macrocarpum* (1.27%N_T) como se muestra en la figura 1. Los tallos registran un menor contenido de nitrógeno total (1.60%N_T) en promedio comparado con las hoja (2.54%N_T) y raíces (2.13%N_T).

Cuadro 34: Contenido de nitrógeno total (%) en la zona de raíz, tallo y hojas de las leguminosas

Tratamiento	Especies		(%N)		
			Radcular	Hojas	Tallos
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	2.120a	3.070a	1.480b
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	1.880a	2.645a	1.415b
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	1.737a	2.417a	1.586b
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	2.593a	2.057a	2.250a
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	2.323a	2.520a	1.270b
Promedios			2.13	2.54	1.60

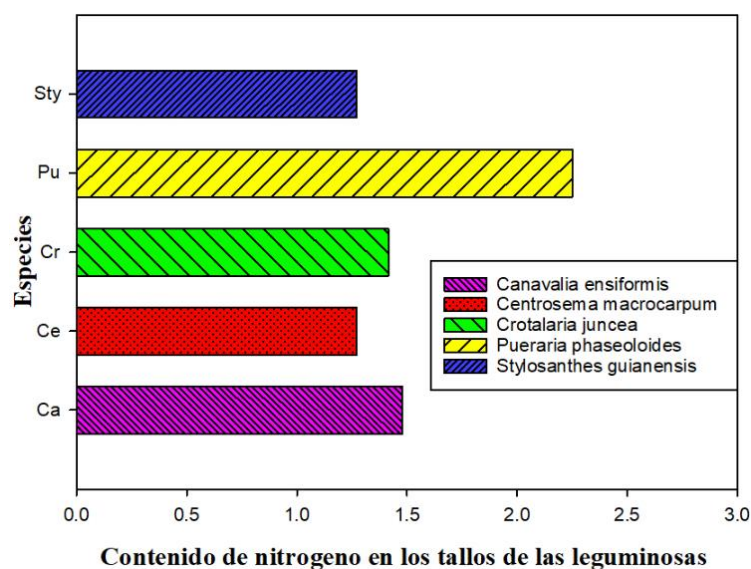


Figura 9: : Contenido de nitrógeno en los tallos de las leguminosas

lo cual es ventajoso, debido a que esta zona tiene un grado de descomposición mayor comparada con las otras zonas (radicular y tallos) de las leguminosas, La canavalia es capaz de fijar hasta 318 kg N/ ha en todo su ciclo de vida , siempre y cuando este colonizadas por especies nativas de *Rhizobium* que sean capaces de hacer fijación de N efectiva, para Martín *et al.* (2007) también reporta el nitrógeno en la *Canavalia ensiformis*, estudió la zona aérea (hojas y tallos) y afirma que es mayor en las hojas que en los tallos.

4.3.2. Evaluación de la cantidad del número de nódulos de los cuobertura evaluados

En el cuadro 35, se observa la cantidad de nódulos promedio por plantas, no hay diferencia significativas entre los tratamientos, por lo tanto la cantidad total de nódulos por planta es la misma en todas las leguminosas estadísticamente con un promedio de 5.57, siendo la *Pueraria phaseoloides* (14.60 Nódulos/planta) la que tiene un mayor número de nódulo/planta, que coincide con la mayor concentración de nitrógeno total en la planta, por el contrario el *Centrosema macrocarpum* (2 Nódulos/planta) contiene el menor número de nódulos (figura 10).

Cuadro 35: Contenido del Número de Nódulos

Tratamiento	Especies		(Nódulo/planta)
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	3.09b
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	4.00ab
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	4.67ab
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	14.60a
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	2.00b
Promedio		X	5.67

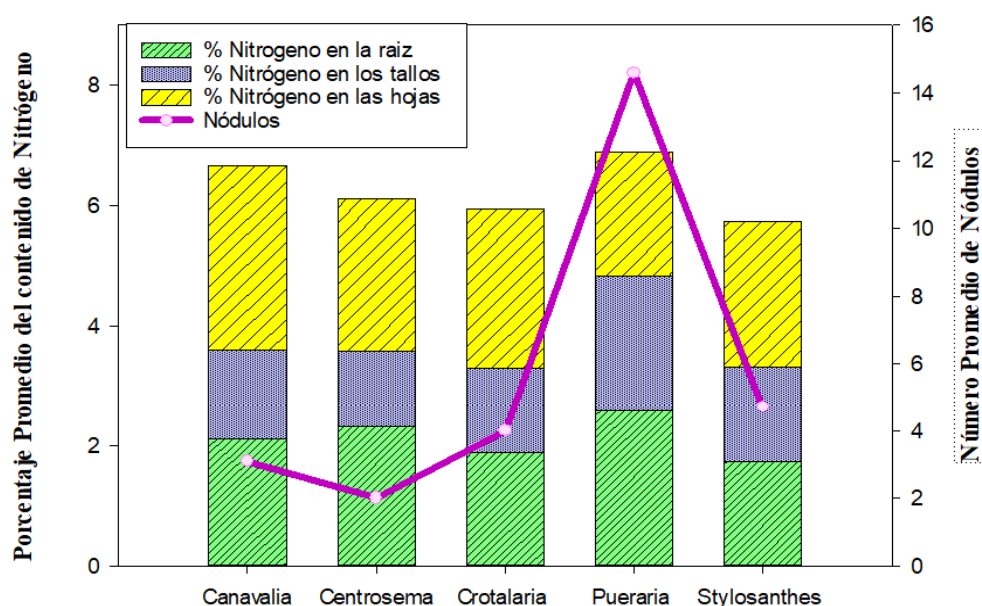


Figura 10: Cantidad del porcentaje de nitrógeno en las diferentes órganos de las leguminosas y la cantidad de nódulos formados

(Maikhuri et al., 2016) afirman que la actividad de la nitrogenasa (es una enzima produce la catálisis de la reacción primordial de la fijación de nitrógeno, es decir la transformación en amoníaco del nitrógeno presente en la atmosfera) disminuye después de la floración, es decir el mejor momento de la estimación de la evaluación de nódulos eficientes es durante la floración, sin embargo los resultados de la figura 10 fueron evaluados después de 200 días de la instalación de las coberturas, por lo que algunas leguminosas fueron evaluadas después de la floración. La supervivencia y la persistencia de los nódulos están limitas por la acidez (Graham & Vance, 2000), debido a que los suelos ácidos reducen la fijación de nitrógeno. La fijación biología de nitrógeno es muy sensible a las condiciones del ambiente, en consecuencia un suelo con pH bajo, limitaciones nutricionales y condiciones climáticas (sequia), pueden reducir la actividad de fijación de nitrógeno y la formación de nódulos (Torabian et al., 2019). Dichas características físicas son muy parecidas a los suelos degradados de la ´resente investigación según lo muestra el cuadro 20, muestra un pH de 5.4, por ello a pesar de tales condiciones las leguminosas en la presente investigación tuvieron resultados óptimos para la recuperación de áreas degradadas por la minería, y tienen una capacidad de desarrollarse en dichos suelos.

4.4. Determinar la concentración de mercurio en la parte foliar y radicular de las leguminosas (*Centrosema macrocarpum* Benth, *Crotalaria juncea* L, *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., 1867, *Canavalia ensiformis* (L.) DC.

Las características del suelo influyen de manera directa la disponibilidad de mercurio en el suelo, y su posterior absorción y acumulación por las leguminosas, en la presente investigación se realizó la cuantificación del metal pesado en la biomasa aérea y radicular de las leguminosas instaladas en la comunidad nativa San Jacinto, los resultados de dicha acumulación se muestran en el cuadro 36.

Cuadro 36: Concentración promedio de mercurio (Hg) kg/mg en la zona raicular tallos y hojas de las leguminosas

Tratamiento	Especies		Contenido de mercurio (ppm)		
			Raiz	Tallos	Hojas
T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	0.50a	0.39b	1.47a
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	0.46a	1.49a	0.74a
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	0.49a	0.80b	0.54a
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	0.43a	0.48b	0.80a
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	0.44a	0.37b	0.68a
Promedios			0.47	0.71	0.85

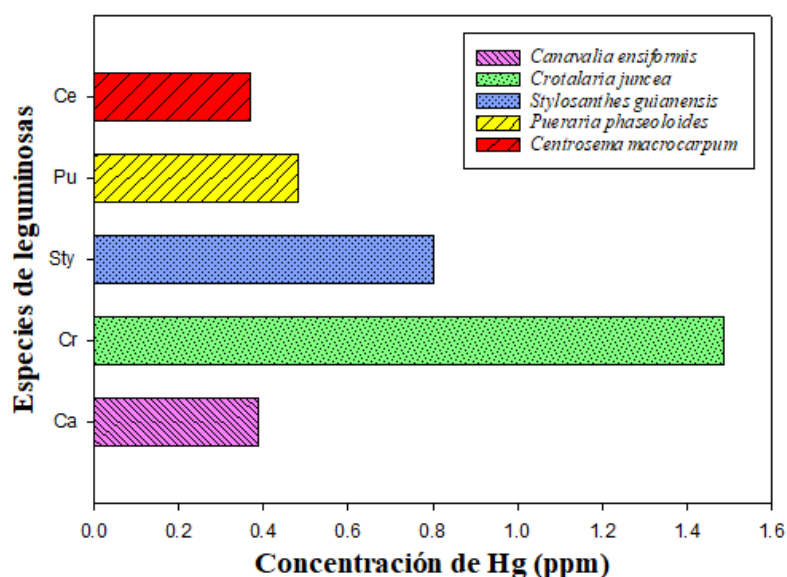


Figura 11: Concentración promedio de mercurio en los tallos de los tratamientos

En la raíz no hay diferencias significativas entre los tratamientos, es decir que a nivel de la raíz la concentración de mercurio es la misma estadísticamente ($p < 0.05$) para todas las leguminosas, en el cuadro 36 se observa que la concentración promedio de mercurio en la raíz es 0.47 ppm, este valor es menor comparando con la concentración promedio de mercurio en los tallos (0.71ppm) y en las hojas (0.85ppm), siendo la *Canavalia ensiformis* la que muestra una tendencia ligera mayor en acumular dicho metal en la raíz, (0.50ppm) comparada con las otras leguminosas; *Crotalaria juncea* (0.46ppm), *Stylosanthes guianensis* (0.49ppm), *Pueraria phaseoloides* (0.43ppm) y *Centrosema macrocarpum* (0.44ppm).

En los tallos hay diferencias significativas entre los tratamientos, siendo la *Crotalaria juncea* con un valor de 1.49 ppm de concentración de mercurio en la masa seca de las hojas mayor ($p < 0.05$) respecto a las otras leguminosas, cuyos valores son de 0.39ppm, 0.80 ppm, 0.48ppm y 0.37 ppm para la *Canavalia ensiformis*, *Stylosanthes guianensis*, *Pueraria phaseoloides* y *Centrosema macrocarpum* respectivamente (figura 11).

La movilidad del mercurio en el es alta, y eso se debe a lo siguiente: primero es la forma de la emisión de dicho metal, en base a investigaciones donde se afirma que el mercurio entra al sistema de forma gaseosa, llegando esta ser más del 60 % del mercurio total usado en la obtención del oro, esta se acumula en la zona aledañas donde se realizó la operación. Luego una fracción de la concentración del metal llega al suelo degradado donde se realizan las operaciones de la minería. Los suelos donde se realiza dichas operaciones tienen características particulares, entre ellas son: textura del suelo arenosa (02.94% arena), el pH (5.3) del suelo ligeramente ácidos, y un C.I.C baja (4.416 meq/100g). Estas características hacen que el metal tenga una movilidad alta.

Suelos arcillosos, con un claro predominio de los minerales de arcilla, presentan una mayor capacidad de retención de agua y contaminantes, una mayor microporosidad y, por tanto, una reducción del drenaje interno del suelo, por el contrario en los suelos arenosos, con menor de capacidad de fijación y una macroporosidad dominante, los metales pesados se infiltran rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Doménech, 1995), sin embargo el mercurio tiene una baja lixiviación según reportan investigaciones plantada en el capítulo anterior donde afirman que menos del 1% es lixiviado y solo cuando esta unidos a los ácidos humicos, la movilidad del mercurio se debe mayormente a la volatilización.

En general, cuando mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales, estas características son de suma importancia, debido a esto se puede evaluar la disponibilidad del metal con respecto a la capacidad que tienen leguminosas de extraer el metal, o la capacidad de la fitoestabilización que se pueda dar, ya que cuenta con bacterias en sus raíces para excluir al metal de la planta y con ello disminuir su toxicidad.

El análisis estadístico de la concentración de mercurio en las hojas no son significativamente diferentes luego del periodo de evaluación de 200 días, todas tienen una concentración de mercurio estadísticamente igual en las hojas. (Rate et al., 2004) indican que la adsorción de metales por raíces y brotes aumenta a medida que la biomasa aumenta, sin embargo, dado que el aumento de la biomasa de los brotes es mayor que el aumento de la biomasa radicular, la concentración de metales en las raíces es mayor comparada a los brotes, en la mayoría de las leguminosas muestran un patrón diferente, la concentración del metal aumenta a medida que aumenta su biomasa, los resultados obtenidos en la presente investigación muestra que la biomasa seca tanto de la zona radicular como aérea de las leguminosas muestra la tendencia expuesta por (Rate et al., 2004), debido a que los resultados de la concentración promedios del mercurio de la zona radicular (0.47 ppm) es menor comparada con las hojas (0.85ppm) y tallos (0.71ppm). Los niveles de mercurio en el suelo es muy bajo, según reportan investigaciones en zonas impactadas por minería revisada en el capítulo anterior con promedios que van de 0.12 ppm a zonas donde no se detecta dicho metal y también a que el metal se encuentra por lo general en su forma gaseosa en un mayor porcentaje, por consecuencia de la quema del amalgama (mezcla del oro y mercurio). Las leguminosas son capaces de absorber dicho metal en estado gaseoso. Las formas solubles de Hg en los aerosoles son fácilmente absorbidas y transportadas dentro de las plantas, el Hg se une fuertemente a los átomos de azufre de los aminoácidos, proteínas y enzimas, este metal se transporta con relativa facilidad en las plantas, la acumulación de mercurio en las leguminosas pueden disminuir su capacidad de absorción de potasio lo cual podría disminuir en la capacidad fijadora de nitrógeno, ya que niveles bajos de potasio limitaría la capacidad fijadora de nitrógeno.

V. CONCLUSIONES

Los cultivos de cobertura (*Canavalia ensiformis*, *Sylosanthes guianensis*, *Pueraria phaseoloides*, *Crotalaria incana* y *Centrosema macrocarpum*) no han tenido efectos significativos en las propiedades físicoquímicas del suelos (pH, materia orgánica, C.I.C, fósforo y potasio) en la primera etapa de instalación: el pH registro un ligero aumento 5.4 a 5.3; el aporte de la materia orgánica después de la siembra por parte de las leguminosas es baja, ya que al inicio fue de 0.04% y al final registro un aporte del 0.08%; la C.I.C registro un valor de 3 valor de 3.73 meq/100 y al final de 4.42 meq/100g; el fósforo disminuyo de 4.1 ppm registrando al inicio y al final de 3.9 ppm; y el potasio aumenta ligeramente con un valor inicial de 23.3 ppm a un valor final de 40.34ppm.

En la producción de la biomasa foliar, la que mostró mejor respuesta fue el cultivo de cobertura ***Sylosanthes guianensis*** (12.261 t/ha) y en la biomasa seca foliar (3.966 t/ha) , por lo que dicha especie es la que se deberá considerarse como el mejor cultivo de cobertura por el gran aporte de material orgánico que podría aportar al suelo y con ello mejorar otros parámetros físicos químicos de los suelos degradados por la minería informal aluvial en Puerto Maldonado. Por otro lado la que menor repuesta tuvo en la producción de bioamasa foliar fue el ***Centrosema macrocarpum*** con 0.274 t/ha de peso fresco foliar y 0.12 t/ha de peso seco foliar, la ***Crotalaria incana*** con 1.072 t/ha de biomasa fresca y 0.41 t/ha de biomasa seca en tallos y hojas.

En la evaluación del porcentaje de cobertura la ***Canavalia ensiformis*** y el ***Sylosanthes guianensis*** son los que tuvieron mejores resultados, desde el inicio hasta los 200 días de instalación. Existe una correlación directa entre el porcentaje de cobertura con el tiempo en todas las especies evaluadas en la investigación, siendo las que la ***Canavalia ensiformis*** la que mejor correlación hubo ($R^2 = 0.9571$). y el ***Sylosanthes guianensis*** con una correlación de 0.9210.

La altura promedio de las leguminosas se observó que la crotalaria alcanzó la mayor altura (75 cm) al inicio (45 días) fecha en la cual inicio su floración; a los 200 días las alturas que

alcanzaron los cultivos fueron las siguientes: *Canavalia ensiformis* (73.64 cm), *Sylosanthes guianensis* (48.43cm), *Pueraria phaseoloides* (11.83cm), y *Centrosema macrocarpum* (19.05cm). Existe una correlación directa entre la altura con el tiempo en todas las especies evaluadas en la investigación, la ***Canavalia ensiformis*** registró una correlación de ($R^2 = 0.9566$) y la ***Sylosanthes guianensis*** registró una correlación de 0.9856, siendo esta la que mejor se establece en los suelos degradados por la actividad minera ilegal en Puerto Maldonado.

El contenido de nitrógeno total en las hojas y raíces no hubieron diferencias significativas en los cinco cultivos de cobertura evaluadas, solamente se encontraron diferencias significativas en lo tallos, siendo la ***Pueraria phaseoloides*** la que registró el mayor contenido (2.250%N_T) y las demás leguminosas: *Canavalia ensiformis* (1.48%N_T), *Crotalaria juncea* (1.42%N_T) y *Stylosanthes guianensis* (1.59%N_T) y *Centrosema macrocarpum* (1.27%N_T), sin embargo las hojas registraron una mayor concentración promedio general de nitrógeno (2.54%) comparando con los tallos (1.60 %N_T) y raíces (2.13%N_T).

En la concentración de mercurio total en las hojas y raíces no se observaron diferencia significativas en las cinco leguminosas evaluadas. Solo encontró diferencias significativas en los tallos, siendo la especie que bioacumula mayor concentración la ***Crotalaria juncea*** con un valor de 1.49 ppm de concentración de mercurio respecto a: ***Canavalia ensiformis*** (0.39ppm), ***Stylosanthes guianensis*** (0.80 ppm), ***Pueraria phaseoloides*** (0.48ppm) y ***Centrosema macrocarpum*** (0.37 ppm). En la masa seca del promedio general de la concentración de mercurio en las hojas (0.85ppm) es mayor respecto a los tallos (0.71 ppm) y raíz(0.47 ppm). Es posible que el mercurio haya ingresado por las hojas de las leguminosas, ya que las concentraciones de mercurio en los suelos degradados por la minera aluvial son muy bajos, las leguminosas no evidenciaron efectos visuales de fitotoxicidad, por ello las leguminosas en la presente investigación demuestran ser plantas capaces de adaptarse a los suelos degradados, y tener una capacidad de acumular mercurio en sus órganos sin afectar la capacidad de fijar nitrógeno. Por lo tanto las leguminosas son especies ideales para la recuperación de áreas degradadas por la minería

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un monitoreo de aire para determinar las concentraciones de mercurio en el aire, ya que los resultados obtenidos indican que hay bioacumulación de mercurio en las especies utilizadas como cultivo de cobertura.
- Se debería evaluar las leguminosas en un tiempo mayor, ya que a los 200 días evaluados las condiciones físico químicas del suelo no evidenciaron un efecto significativo por parte de dichas especies con respecto al suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Rodríguez, P. (2005). *Vines and climbing plants of Puerto Rico and the Virgin Islands* (D. of Botany & N. M. of N. History (eds.); Vol. 51).
- Acevedo, E., Carrasco, M., León, O., Silvia, P., Castillo, I., Borie, G., & González, S. (2005). *Criterios de calidad de suelos agrícolas*.
- Acosta, S. I. . (2009). *Promoting the use of tropical legumes as cover crops in Puerto Rico*. Mayaguez University of Puerto Rico.
- Agriculture United States Department of Agriculture (USDA). (2012). *Cover Crops Plants*. Nature Resources ConservationService.
<https://plants.usda.gov/java/coverCrops>
- Alfaro-Blanco, L. F. (2015). *Evaluación bioeconómica de la suplementación con pellets de stylosanthes quianensis sobre la producción y constituyentes de la leche en vacas en pastoreo en la Zona Norte de Costa Rica* [Instituto Tecnológico de Costa Rica].
<http://hdl.handle.net/2238/6472>
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* (Universidad de Rioja (ed.); 3rd ed.).
- Arias, A. R. (1986). Reseña sobre la kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides* (Roxb) Benth). *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. Turrialba, 21.
- Baca, B. E., Soto Ursula, L., & Pardo Ruiz, M. P. (2000). Fijación Biológica de Nitrógeno. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 7(0), 43–49.
- Buckman, H., & Brady, N. . (1996). The nature and properties of soil. In *The Macmillan company*.
- Caballero Espejo, J., Messinger, M., Roman D, F., Fernandez, C. E., & Silman, M. (2018). Deforestation and Forest Degradation Due to Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Year Perspective. *Remote Sens*, 2(0), 1–16.
- Cadish, G., & Sylvester-Bradley, R. (1986). *Grown and symbiotic nitrogen fixation of eight preestablished tropical forage legumes at two levels of Pk supply*.
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo* (U. C. de Venezuela (ed.); 2nd

ed.).

- Ciotti, E. ., Castalán, M. ., Tomel, C., Mónaco, J. ., & J.P., B. (2003). Respuesta de *Stylonsathes gianensis* Ciat 184 a la fertilización con una baja dosis de fósforo. *Revista de Investigación Agropecuarias*, 32(2), 137–148.
- Clark, A. (2007). *Managing Cover Crops Profitably* (Sustainable Agriculture Research and Education (ed.); 3rd ed.). www.sare.org/Learning-Center/Books/Managing-Cover-Crops-Profitably-3rd-Edition/Text-Version/Printable-Version
- De-Bashan, L., Hernandez, J., & Bashan, Y. (2012). The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation – A comprehensive evaluation. *Applied Soil Ecology*, 61, 171–189.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.09.003>
- Del Aguiula Tello, P. (2004). *Producción de biomasa estacional y fijación de nitrógeno de las cepas nativas de Rhyzobium en dos leguminosas tropicales (Mucina Stizolobium sp) inoculado bajo condiciones de invernadero*. UNALM.
- Dirven, J. G. ., & Ehrencrow, V. K. . (1963). Minerales in Kudzú. *Surinamse Landbow*, 11(1), 10–18.
- García, M., Treto, E., & Alvarez, M. (2001). Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(0), 5–10.
- García, M., Treto, E., Álvarez, M., Fernández, L., & Hernández, T. (1996). Estudio comparativo de diferentes especies de abonos verdes y cuantificación del aporte de nitrógeno en el cultivo de la calabaza. *Cultivos Tropicales*, 17(3), 9–16.
- Giller, K., Witter, E., & McGrath, S. (1998). Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10–11), 1389–1414. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00270-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00270-8)
- Gonzalez Castillo, J. A., & Chow Montenegro, L. R. (2008). *Comportamiento agronomico y productivo de nueve leguminosas herbaceas forrajeras, en el municipio de Muy Muy, Matagalpa* [UNA]. <http://repositorio.una.edu.ni/2065/>
- Graham, P. ., & Vance, C. . (2000). Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extensión needs. *Field Crops Reserach*, 65, 93–106.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00080-5)

- Haque, I., & Jutzi, S. (1984). Nitrogen fixation by forage legumes in sub-sahara Africa: Potential and limitations. In *ILCA BULETIN* (pp. 2–13).
- Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). (1986). *Posibilidades de la Utilización de Leguminosas forrajeras para mejorar la productividad agricola y ganadera en la selva peruana*.
- Joseph, K. . (1970). The effect of phosphorus on nitrogen fixation by the cover crop *Pueraria phaseoloides* on a latosol. *The Planter*, 153–156.
- Juárez, F. (2003). *Evaluación Nutricional de Leguminosas Tropicales*. Universidad de Veracruz.
- Kerridge, P. C. (1978). Fertilization of acid tropical soils in relation to pasture legumes. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 395–415.
- Lopez, R. J. (1990). *Diagnostico de suelo y plantas* (Mundiprensa (ed.)).
- Maikhuri, R. ., Dangwal, D., Negi, V. ., & Rawat, L. . (2016). Evaluation of symbiotic nitrogen fixing ability of legume crops in Central Himalaya, India. *Journals & Books*, 1, 26–28. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2016.06.001>
- Martinez, G., McCord A, S., Driscoll T, C., Todorova, S., Wu, S., Araújo F, J., Vega M, C., & Fernandez E, L. (2018). Mercury Contamination in Riverine Sediments and Fish Associated with Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph15081584>.
- Ministerio del ambiente (MINAM). (2011). *Plan nacional de acción ambiental PLANAA-PERÚ 2011-2021*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM), & (IIAP), I. de I. de la A. P. (2011). *MINERÍA AURÍFERA EN MADRE DE DIOS Y CONTAMINACIÓN CON MERCURIO*.
- Moreno-Bruch, M., Rydberg, J., Gamboa, N., Storch, I., & Biestrer, H. (2016). Is mercury from small-scale gold mining prevalent in the southeastern Peruvian Amazon? *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 218, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.038>
- Mosquera, C., Chávez, M. L., Pachas, V. H., & Moschella, P. (2009). *Estudio Diagnostico de la Actividad Minera Artesanal en Madre de Dios*.
- Navarro Garcia, G., & Navarro Simón, G. (2013). *Quimica agricola: quimica del suelo y*

- de los nutrientes esenciales para la planta* (Mundi-Prensa (ed.); 3rd ed.).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1997). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*.
- Pajuelo, E., Pérez-Palacios, P., Romero-Aguilar, A., Delgadillo, J., Doukkali, B., Rodríguez-Llorente, I., & Caviedes, M. (2016). Improving legume–rhizobium symbiosis for copper phytostabilization through genetic manipulation of both symbionts. In: Biological nitrogen fixation and beneficial plant-microbe interaction. *Springer International*, 183–193.
- Pastor, J., Hernandez, A., Prieto, N., & Fernandez-Pascual, M. (2003). Accumulating behaviour of *Lupinus albus* L. growing in a normal and a decalcified calcic luvisol polluted with Zn. *Journal of Plant Physiology*, 160(12), 1457–1465.
<https://doi.org/10.1078/0176-1617-01007>
- Peña Venegas, C. P., & Cardona Vanegas, G. (2010). *Dinámica de suelos amazónicos procesos de degradación y alternativas para su recuperación*.
- Porta, J., Lopez-Acevedo, M., & Poch M, R. (2014). *Edafología uso y protección de suelos* (Mundi-Prensa (ed.); 3rd ed.).
- Price, J. G., & Berkelaar, D. (2005). Traditional techniques for improving soils (Leguminous ground covers and green manures). *Educational Concerns for Hunger Organization*.
- Puertas, F., Arévalo, E., Zúñiga, L., Alegre, J., Loli, O., Soplin, H., & Baligar, V. (2008). Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la amazonía peruana. *Ecología Aplicada*, 7(1–2), 23–28.
- Rane, M., Shaikh, E., & Malusare, U. (2014). Effect of heavy metals on growth of *Rhizobium*. *Int J Sci Eng Res*, 5, :306–310.
- Rate, A. W., Lee, K., & French, P. (2004). Application of biosolids in mineral sands mine rehabilitation: use of stockpiled topsoil decreases trace element uptake by plants. *Bioresource Technology*, 91(3), 223–231. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00206-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00206-2)
- Rotar, P. P., & Joy, R. J. (1983). “TROPIC SUN” SUNN HEMP *Crotalaria juncea* L. *Tropical Agriculture and Human Resources*. University of Hawaii, 11.
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/hipmcpu

- Saif, S., Zaidi, A., Mohd, S. k, & Rizvi, A. (2017). *Metal-Legume-Microbe Interactions: Toxicity and Remediation*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59174-2_15
- Saleem, M., & Otsyina, M. (1984). Evaluation of some *Stylosanthes* accessions for subhumid conditions of Nigeria. In *ILCA Bulletin* (pp. 14–17).
- Sánchez, P. . (1981). Suelos del trópico: características y manejo. *Instituto Interamericano de Cooperación Para La Agricultura*, 623.
- Sánchez, P. A., & Salinas, J. G. (1984). Tecnología de bajos insumos para el manejo de oxisoles y ultisoles en america tropical. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*.
- Schultze-Kraft, R., Williams, R., & Coradin, L. (1997). Biogeografía de Centrosema. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 35–83. <https://orcid.org/0000-0002-4563-0044>
- Torabian, TFarhangi-Abriz, D., & Denton, M. (2019). Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review.2019. *Soil& Tillage Research*, 185, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006>
- Wang, K. ., Sipes, B. ., & Schimitt, D. P. (2001). *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: A Review. *Nematropica*, 32(0), 35–57. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/69643>
- Xie, Y., Fan, J., Zhu, W., Amombo, E., Lou, Y., Chen, & LFu, J. (2016). Effect of Heavy Metals Pollution on Soil Microbial Diversity and Bermudagrass Genetic Variation. *Front. Plant Sci*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00755>
- Zaharah, A. ., Sharifuddin, H. A., Razley, M. ., & Mohd Saidi, A. . (1986). Measurement of nitrogen fixed by *Pueraria phaseoloides* by N-15 dilution technique. *Pertanika*, 9, 45–49.
- Martin, G.M; Rivera, R.A; Mujica Y. 2007. Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la canavalia ensiformispor el método de la diferencia de N total. Cultivos tropicales. Vol 28. N° 4. Pag 75-78.

VIII. ANEXOS

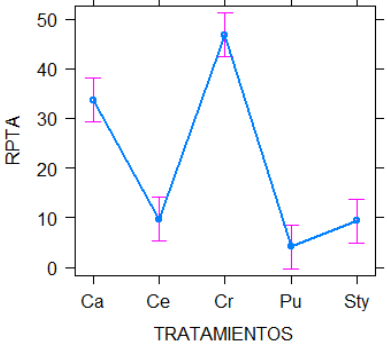
ANEXOS I : Evaluaciones estadísticas de la altura

Cuadro 37: Primera evaluación de la altura de las leguminosas

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
14/05/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	31.186	a	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	34.338	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	8.2707	bc	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.568	c	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	10.223	b	

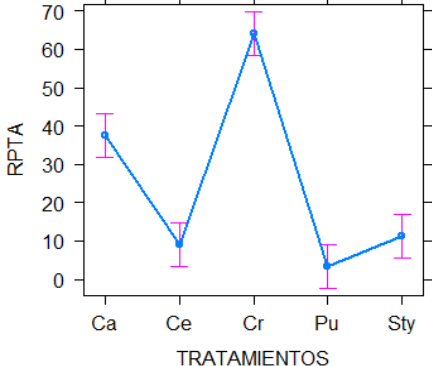
Significativo**

Cuadro 38: Segunda evaluación de la altura de las leguminosas

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
24/05/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	33.667	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	46.833	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	9.333	c	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.100	c	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	9.733	c	

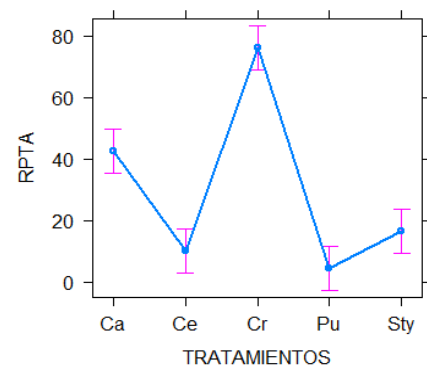
Significativo***

Cuadro 39: Tercera evaluación de la altura de las leguminosas

	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
7/06/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	37.500	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	64.100	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	11.133	c	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	3.333	c	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	9.0687	c	

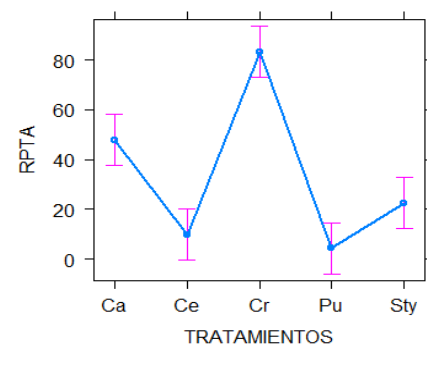
Significativo***

Cuadro 40: Cuarta evaluación de la altura de las leguminosas

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
20/06/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	42.567	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	76.100	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	16.567	c	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.367	d	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	10.167	cd	

Significativo ***

Cuadro 41: Quinta evaluación de la altura de las leguminosas

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
9/07/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	47.900	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	83.267	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	22.467	c	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.233	d	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	9.767	cd	

Significativo ***

Cuadro 42: Sexta evaluación de la altura de las leguminosas

	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
1/08/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	46.167	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	75.000	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	25.500	c	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.167	d	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	9.667	d	

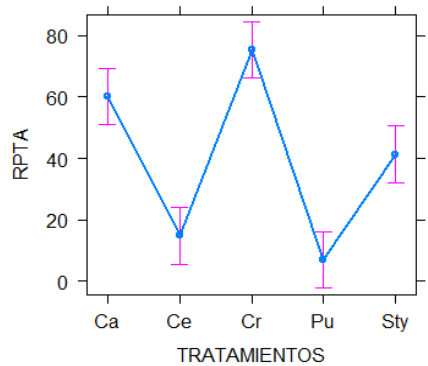
Significativo***

Cuadro 43: Séptima evaluación de la altura de las leguminosas

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
30/08/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	54.094	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	74.203	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	38.511	c	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	7.282	d	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	13.182	d	

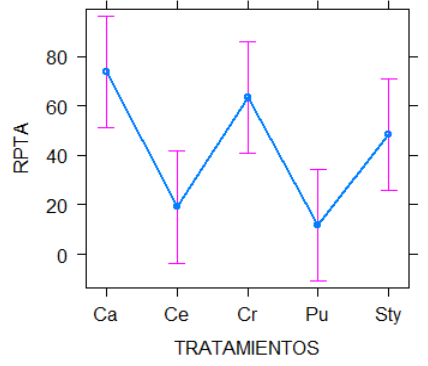
Significativo***

Cuadro 44: Octava evaluación de la altura de las leguminosas

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
10/09/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	60.128	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	75.397	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	41.290	c	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	6.910	d	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	14.756	d	

Significativo***

Cuadro 45: Novena evaluación de la altura de las leguminosas

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (altura cm)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
18/10/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	73.639	a	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	63.480	a	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	48.432	ab	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	11.825	c	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	19.049	bc	

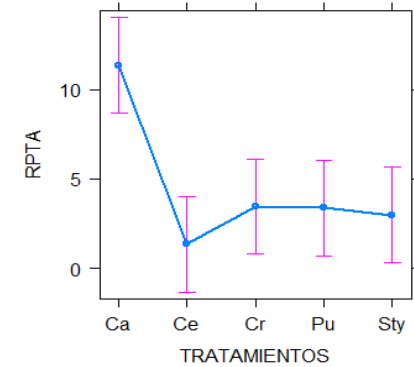
Significativo**

Anexos 2: evaluación estadística del porcentaje de cobertura

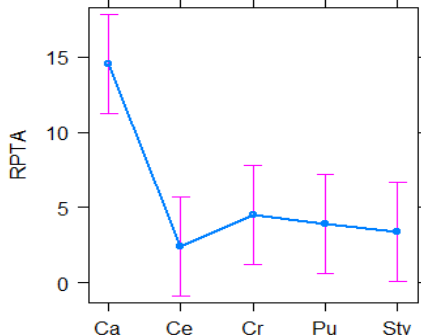
Cuadro 46 : Primera evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies	Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
26/04/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	11.333	a
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	3.450	b
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	2.987	b
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	3.373	b
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	1.347	b

Significativo**

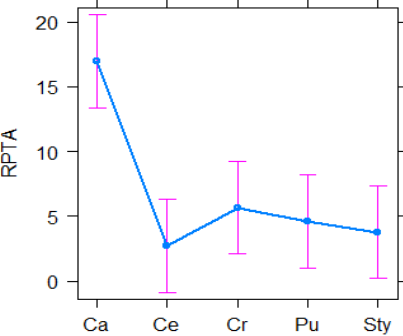


Cuadr 47: Segunda evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot												
14/05/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	14.517	a	 <table><caption>Data for Cuadr 47 Effect Plot</caption><thead><tr><th>Tratamiento</th><th>RPTA</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>14.517</td></tr><tr><td>Ce</td><td>2.430</td></tr><tr><td>Cr</td><td>4.513</td></tr><tr><td>Pu</td><td>3.893</td></tr><tr><td>Sty</td><td>3.387</td></tr></tbody></table>	Tratamiento	RPTA	Ca	14.517	Ce	2.430	Cr	4.513	Pu	3.893	Sty	3.387
	Tratamiento	RPTA																
	Ca	14.517																
	Ce	2.430																
	Cr	4.513																
Pu	3.893																	
Sty	3.387																	
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	4.513	b														
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	3.387	b														
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	3.893	b														
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	2.430	b														

Significativo**

Cuadro 48: Tercera evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot												
26/05/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	16.961	a	 <table><caption>Data for Cuadro 48 Effect Plot</caption><thead><tr><th>Tratamiento</th><th>RPTA</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ca</td><td>16.961</td></tr><tr><td>Ce</td><td>2.709</td></tr><tr><td>Cr</td><td>5.638</td></tr><tr><td>Pu</td><td>4.604</td></tr><tr><td>Sty</td><td>3.782</td></tr></tbody></table>	Tratamiento	RPTA	Ca	16.961	Ce	2.709	Cr	5.638	Pu	4.604	Sty	3.782
	Tratamiento	RPTA																
	Ca	16.961																
	Ce	2.709																
	Cr	5.638																
Pu	4.604																	
Sty	3.782																	
T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	5.638	b														
T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	3.782	b														
T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	4.604	b														
T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	2.709	b														

Cuadro 49 : Cuarta evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
7/06/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	24.617	a	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	6.537	b	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	4.051	b	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	6.536	b	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	3.907	b	

Significativo**

Cuadro 50: Quinta evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
20/06/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	23.054	a	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	9.843	b	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	7.512	b	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	9.611	b	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	4.4510	b	

Significativo**

Cuadro 51: Sexta evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
9/07/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	24.299	a	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	6.299	b	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	9.851	b	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	10.362	b	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	3.490	b	

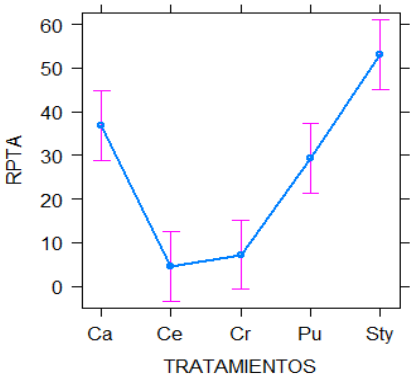
Significativo**

Cuadro 52: Séptima evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot
30/08/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	32.396	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	6.676	d	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	51.045	a	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	23.127	c	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	7.361	d	

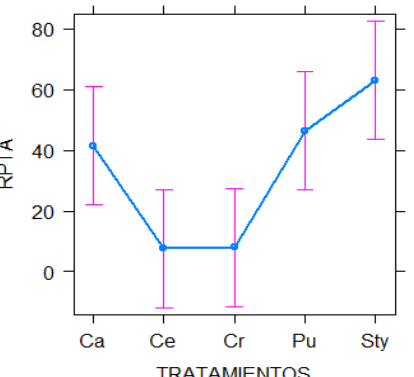
Significativo***

Cuadro 53: Octava evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
10/09/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	36.789	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	7.229	c	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	52.983	a	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	29.396	b	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	4.617	c	

Significativo***

Cuadro 54: Novena evaluación del porcentaje de cobertura

Fecha	Tratamiento	Especies		Medias (% cobertura)	Efecto entre tratamiento	TRATAMIENTOS effect plot 
18/10/2018	T1	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Ca	41.453	b	
	T2	<i>Crotalaria juncea</i> L	Cr	8.068	b	
	T3	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw	Sty	62.935	a	
	T4	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	Pu	46.377	a	
	T5	<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth	Ce	7.665	b	

Significativo

Anexo 3 : Resultados del análisis físico química inicial del suelo

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante :		INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA - IIAF																							
Departamento :		MADRE DE DIOS										Provincia :		TAMBOPATA											
Distrito :												Predio :													
Referencia :		H.R. 64092-098C-18										Fact.: Pendiente		Fecha :		10/07/18									
Número de Muestra		C. E.		CaCO3		M.O.		P		K		Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%	
Lab	Claves	pH	(1:1)									Arena			Limo	Arcilla	Textural						de	de	Sat. De
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%		Ca+2	Mg+2	K+	Na+	Al+3 + H+	Cationes	Bases	Bases
																		meq/100g							
8789	SU-CON-001	5,54	0,02	0,00	0,06	4,4	23	89	4	7	A.	4,00	1,05	0,45	0,08	0,12	0,10	1,80	1,70	43					
8790	SU-CON-004	5,59	0,02	0,00	0,03	4,7	24	87	6	7	A.Fr.	4,00	1,95	0,85	0,13	0,17	0,05	3,15	3,10	78					
8791	SU-CON-007	5,20	0,03	0,00	0,03	3,2	23	89	6	5	A.	3,20	1,03	0,53	0,09	0,11	0,10	1,87	1,77	55					
8792	SU-CON-010	5,20	0,02	0,00	0,03	3,1	22	89	6	5	A.	3,20	1,10	0,53	0,09	0,11	0,10	1,93	1,83	57					
8793	SU-CON-013	5,03	0,10	0,00	1,07	5,9	52	7	66	27	Fr.Ar.L.	8,32	4,47	1,52	0,16	0,12	0,20	6,47	6,27	75					

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Dr. Sady García Bendejú
Jefe del Laboratorio

Anexo 4: Resultados del análisis físico químico final del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA

Departamento : MADRE DE DIOS

Distrito :

Referencia : H.R. 66728-006C-19

Fact.: 4221

Provincia : TAMBOPATA

Predio :

Fecha : 21/01/19

Número de Muestra		C.E.		CaCO ₃		M.O.		P		K		Análisis Mecánico		Clase		CIC		Cationes Cambiables					Suma	Suma	%
Lab	Claves	pH	(1:1)	%	%	ppm	ppm	%	%	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Textural			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	de	de	Sat. De
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%				meq/100g					Cationes	Bases	Bases
149	B1CAFO	5.87	0.06	0.00	0.08	3.8	30	92	2	6	A.	4.48	2.52	0.50	0.06	0.17	0.10	3.35	3.25	72					
150	B1CEFO	5.92	0.02	0.00	0.05	4.3	38	94	2	4	A.	4.16	1.47	0.53	0.09	0.17	0.05	2.31	2.26	54					
151	B1CRFO	6.01	0.02	0.00	0.07	3.3	37	94	2	4	A.	3.84	1.18	0.42	0.08	0.17	0.00	1.84	1.84	48					
152	B1PUFO	5.65	0.01	0.00	0.09	3.8	39	94	2	4	A.	4.00	1.39	0.53	0.10	0.23	0.05	2.31	2.26	57					
153	B1ST4FO	5.38	0.01	0.00	0.10	2.9	35	94	2	4	A.	4.32	1.27	0.47	0.07	0.16	0.10	2.05	1.96	45					
154	B1TFQ	5.52	0.01	0.00	0.07	4.5	28	94	2	4	A.	3.20	1.33	0.48	0.06	0.18	0.05	2.11	2.06	64					
155	B2CAFO	5.16	0.02	0.00	0.10	4.3	48	92	2	6	A.	4.32	1.49	0.57	0.07	0.17	0.10	2.40	2.30	53					
156	B2CEFO	5.02	0.04	0.00	0.12	4.7	53	92	2	6	A.	4.32	1.37	0.52	0.10	0.20	0.10	2.28	2.18	51					
157	B2CRFO	5.07	0.03	0.00	0.10	4.2	39	90	6	4	A.	4.16	1.42	0.55	0.05	0.15	0.10	2.27	2.17	52					
158	B2PUFO	5.02	0.03	0.00	0.12	4.8	44	90	6	4	A.	4.48	1.58	0.58	0.08	0.17	0.05	2.45	2.41	54					
159	B2ST4FO	5.11	0.02	0.00	0.12	4.0	37	92	4	4	A.	4.80	1.42	0.53	0.05	0.15	0.10	2.25	2.15	45					

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Bendejú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 614-8622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA

Departamento : MADRE DE DIOS

Distrito :

Referencia : H.R. 66728-006C-19

Fact.: 4221

Provincia : TAMBOPATA

Predio :

Fecha : 21/01/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
160	B2TFQ	5.09	0.03	0.00	0.07	4.6	45	90	6	4	A.	4.80	1.68	0.65	0.09	0.22	0.10	2.73	2.63	55
161	B3CAFQ	5.29	0.03	0.00	0.07	2.7	39	94	6	0	A.	4.16	1.22	0.50	0.06	0.17	0.10	2.04	1.94	47
162	B3CEFQ	5.11	0.02	0.00	0.05	5.0	37	94	6	0	A.	4.80	1.18	0.47	0.08	0.17	0.10	2.00	1.90	40
163	B3CRFQ	4.98	0.03	0.00	0.12	3.5	46	94	2	4	A.	5.60	1.26	0.48	0.09	0.18	0.10	2.11	2.01	36
164	B3PUFQ	5.02	0.02	0.00	0.09	3.8	35	94	2	4	A.	4.32	1.19	0.47	0.06	0.15	0.05	1.91	1.86	43
165	B3ST4FQ	5.03	0.02	0.00	0.05	3.8	45	94	2	4	A.	4.48	1.21	0.47	0.07	0.17	0.10	2.02	1.92	43
166	B3TFQ	4.98	0.02	0.00	0.07	4.3	38	94	2	4	A.	4.80	1.10	0.47	0.06	0.16	0.10	1.88	1.78	37
167	B4F1FQ	4.68	0.11	0.00	2.21	6.1	105	14	62	24	Fr.L.	11.52	4.38	1.43	0.19	0.20	0.10	6.31	6.21	54
168	B4F2FQ	4.49	0.25	0.00	4.08	11.2	106	14	54	32	Fr.Ar.L.	14.88	5.86	2.37	0.29	0.23	0.15	8.90	8.75	59

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Benítez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 5 : datos obtenidos en campo de la evaluación de la altura de las leguminosas

BLOQUE	TRATAMIENTO	PROMEDIO ALTURA								
		14/05/2018	24/05/2018	7/06/2018	20/06/2018	9/07/2018	1/08/2018	30/08/2018	10/09/2018	18/10/2018
	ESPECIES	44	54	68	81	100	123	152	163	201
I	<i>Canavalia ensiformis</i>	30.948	35.800	36.100	38.500	42.500	40.400	43.900	48.042	55.700
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	10.091	11.200	9.800	9.900	11.900	10.700	15.188	16.682	17.271
	<i>Crotalaria juncea</i>	39.157	48.800	55.600	63.500	65.800	65.400	70.600	66.250	17.000
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	4.320	4.300	3.200	3.900	3.700	4.600	8.875	6.684	11.026
	<i>Stylosanthes guianensis</i>	7.398	7.800	9.300	13.200	15.300	17.600	24.944	27.382	37.694
II	<i>Canavalia ensiformis</i>	28.720	36.200	39.900	47.800	54.400	50.700	56.500	66.542	88.850
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	10.768	10.800	9.900	10.900	9.300	8.800	10.480	10.958	15.034
	<i>Crotalaria juncea</i>	29.786	41.900	64.400	78.900	87.300	84.900	76.372	84.759	90.091
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	4.155	4.200	3.500	3.400	3.400	3.500	4.934	5.064	6.921
	<i>Stylosanthes guianensis</i>	10.594	13.400	16.000	22.700	32.200	34.200	48.298	50.488	56.845
III	<i>Canavalia ensiformis</i>	33.890	29.000	36.500	41.400	46.800	47.400	61.881	65.800	76.368
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	9.810	7.200	7.500	9.700	8.100	9.500	13.878	16.629	24.841
	<i>Crotalaria juncea</i>	34.070	49.800	72.300	85.900	96.700	74.700	75.636	75.182	83.350
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	5.230	3.800	3.300	5.800	5.600	4.400	8.038	8.981	17.528
	<i>Stylosanthes guianensis</i>	6.820	6.800	8.100	13.800	19.900	24.700	42.289	46.000	50.757

ANEXO 6: Datos obtenidos en campo en el porcentaje de cobertura

BLOQUE	TRATAMIENTO	PORCENTAJE DE COBERTURA (%)								
		26/04/2018	14/05/2018	26/05/2018	7/06/2018	20/06/2018	9/07/2018	30/08/2018	10/09/2018	18/10/2018
	ESPECIES	32	44	54	68	81	100	151	161	191
I	<i>Canavalia ensiformis</i>	10.250	13.450	15.373	15.600	14.583	15.267	19.183	19.860	20.545
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	2.350	4.210	4.427	2.820	5.107	1.353	5.457	3.440	8.600
	<i>Crotalaria juncea</i>	5.250	6.000	6.513	3.130	8.333	0.747	0.552	3.533	2.050
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	2.850	2.890	3.023	3.200	6.450	8.000	14.857	20.123	24.420
	<i>Stylosanthes guianensis</i>	3.850	4.150	4.627	4.313	8.303	9.633	37.970	41.257	66.010
II	<i>Canavalia ensiformis</i>	15.020	19.520	22.527	31.700	30.190	29.110	40.637	49.647	66.835
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	0.800	1.500	1.897	4.387	4.053	2.638	6.463	5.567	7.165
	<i>Crotalaria juncea</i>	1.500	3.020	4.620	10.035	10.615	9.500	7.260	7.315	15.540
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	3.300	4.230	4.933	5.207	8.673	7.527	22.470	32.343	45.120
	<i>Stylosanthes guianensis</i>	4.370	5.120	5.837	5.910	10.863	11.470	54.483	59.157	55.260
III	<i>Canavalia ensiformis</i>	8.730	10.580	12.983	26.550	24.390	28.520	37.369	40.860	36.980
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	0.890	1.580	1.803	4.513	4.193	6.480	10.163	4.843	7.230
	<i>Crotalaria juncea</i>	3.600	4.520	5.780	6.447	10.580	8.650	12.217	10.840	6.615
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	3.970	4.560	5.857	11.200	13.710	15.560	32.053	35.723	69.590
	<i>Stylosanthes guianensis</i>	0.740	0.890	0.883	1.930	3.370	8.450	60.683	58.537	67.535

